



You have downloaded a document from
RE-BUŚ
repository of the University of Silesia in Katowice

Title: Przystropowa strefa gazonośna w utworach karbonu południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego - występowanie, parametry zbiornikowe węgla oraz możliwości pozyskania metanu

Author: Sławomir Kędzior

Citation style: Kędzior Sławomir. (2012). Przystropowa strefa gazonośna w utworach karbonu południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego - występowanie, parametry zbiornikowe węgla oraz możliwości pozyskania metanu. Katowice : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.



Uznanie autorstwa - Użycie niekomercyjne - Bez utworów zależnych Polska - Licencja ta zezwala na rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie w celach niekomercyjnych oraz pod warunkiem zachowania go w oryginalnej postaci (nie tworzenia utworów zależnych).



UNIwersYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH



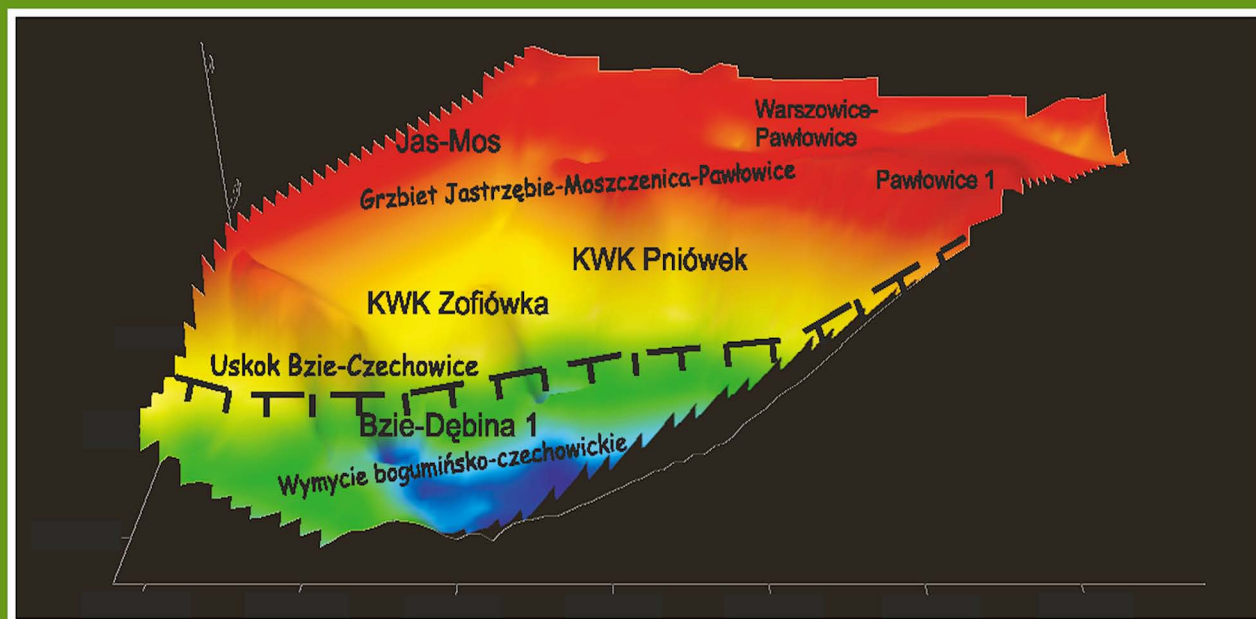
Biblioteka
Uniwersytetu Śląskiego



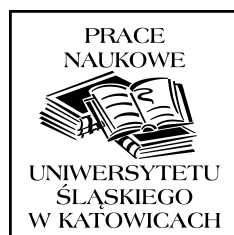
Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Sławomir Kędzior

**Przystropowa strefa gazonośna
w utworach karbonu
południowej części
Górnośląskiego Zagłębia Węglowego –
występowanie, parametry zbiornikowe węgla
oraz możliwości pozyskania metanu**



**Przystropowa strefa gazonośna
w utworach karbonu
południowej części
Górnośląskiego Zagłębia Węglowego –
występowanie, parametry zbiornikowe węgla
oraz możliwości pozyskania metanu**



NR 2938

Sławomir Kędzior

**Przystropowa strefa gazonośna
w utworach karbonu
południowej części
Górnośląskiego Zagłębia Węglowego –
występowanie, parametry zbiornikowe węgla
oraz możliwości pozyskania metanu**



Redaktor serii: Nauki o Ziemi
Andrzej T. Jankowski

Recenzenci
Marek Nieć
Piotr Such

Publikacja będzie dostępna — po wyczerpaniu nakładu — w wersji internetowej:

Śląska Biblioteka Cyfrowa
www.sbc.org.pl

Redaktor: Barbara Todos-Burny
Projektant okładki: Radosław Kędzior
Aranżacja graficzna okładki: Małgorzata Pleśniar
Redaktor techniczny: Barbara Arenhövel
Korektor: Mirosława Żłobińska
Skład i łamanie: Edward Wilk

Copyright © 2012 by
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-226-2093-9

Wydawca
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice
www.wydawnictwo.us.edu.pl
e-mail: wydawus@us.edu.pl

Wydanie I. Ark. druk. 16,5. Ark. wyd. 14,5.
Papier offset. kl. III, 90 g Cena 20 zł (+ VAT)

Druk i oprawa: PPHU TOTEM s.c.
M. Rejnowski, J. Zamiara
ul. Jacewska 89, 88-100 Inowrocław

Spis treści

Wykaz skrótów i symboli	7
Wprowadzenie	9
1. Metan pokładów węgla z punktu widzenia surowcowego	11
1.1. Metan jako kopalina	11
1.2. Rys historyczny oraz metody eksploatacji MPW	14
2. Stan badań	19
2.1. Związek gazonośności Górnośląskiego Zagłębia Węglowego z budową geologiczną	19
2.2. Przystropowa strefa metanonośna	25
2.3. Pokłady węgla jako zbiornik metanu	27
3. Obszar badań i metodyka	28
3.1. Obszar badań	28
3.2. Uwarunkowania geologiczno-metanowe	30
3.2.1. Stratygrafia i tektonika	30
3.2.2. Warunki metanowe	33
3.3. Materiał źródłowy	35
3.4. Wyznaczenie przystropowej strefy gazonośnej oraz parametrów zbiornikowych skał	36
4. Charakterystyka przystropowych akumulacji metanu w karbonie oraz gazu ziemnego w miocenie w świetle wyników badań własnych	41
4.1. Metanonośność pokładów węgla	41
4.2. Metanonośność piaskowców	52
4.3. Objawy gazu wolnego w otworach wiertniczych	55
4.4. Przemysłowe akumulacje metanu wolnego w stropie utworów karbonu oraz konwencjonalne złoża gazu ziemnego w utworach mioceńskich	60
4.4.1. Akumulacje w stropowych partiach karbonu	60
4.4.1.1. Akumulacja metanu wolnego KWK „Markłowice”	60
4.4.1.2. Akumulacja metanu wolnego KWK „Silesia”	61
4.4.1.3. Akumulacja metanu wolnego „Kaczyce I” w zrobach byłej KWK „Morcinek”	61
4.4.2. Złoża gazu ziemnego w utworach mioceńskich Dębowiec Śląski i Pogórz	62
5. Analiza porównawcza gazonośności serii węglonośnej w przystropowych partiach karbonu w poszczególnych rejonach badawczych oraz dyskusja wyników	64
6. Analiza parametrów fizykochemicznych i zbiornikowych węgla oraz warunki hydrogeologiczne	72
6.1. Charakterystyka występowania i miąższości pokładów węgla	73
6.2. Parametry fizykochemiczne oraz skład petrograficzny węgla	75
6.3. Pojemność gazowa i nasycenie pokładów metanem	77
6.4. Parametry zbiornikowe substancji węglowej uzyskane na podstawie badań pikno- i porozymetrycznych	85

6.5.	Przepuszczalność substancji węglowej	90
6.6.	Warunki hydrogeologiczne	95
7.	Możliwości zagospodarowania metanu	98
7.1.	Przystropowa strefa gazonośna jako cel eksploatacji	98
7.1.1.	Eksploatacja otworami kierunkowymi	99
7.1.2.	Eksploatacja otworami pionowymi	102
7.1.3.	Zagospodarowanie metanu w obszarze leżącym na południe od dyslokacji Bzie-Czechowice	104
7.2.	Propozycja rozszerzenia zakresu poszukiwań głębiej położonych pokładów dla eksploatacji MPW	105
8.	Podsumowanie	117
	Literatura	119
	Summary	129
	Резюме	131

Wykaz skrótów i symboli

CAG	— Centralne Archiwum Geologiczne
CBM	— <i>coalbed methane</i> (metan pokładów węgla)
csw	— bezwodna i bezpopiołowa (czysta) substancja węglowa
DZW	— Dolnośląskie Zagłębie Węglowe
ECBM	— <i>enhanced coalbed methane</i> (metan pokładów węgla o zwiększonym użytku ze złożeń wskutek zatłaczania CO ₂)
GIG	— Główny Instytut Górnictwa
gr.	— grupa (pokładów węgla)
GSP	— górnośląska seria piaskowcowa
GZW	— Górnośląskie Zagłębie Węglowe
INiG	— Instytut Nafty i Gazu
KSP	— krakowska seria piaskowcowa
KWK	— kopalnia węgla kamiennego
LZW	— Lubelskie Zagłębie Węglowe
maks.	— wartość maksymalna
MBO	— metoda bezpośrednia otworowa
min.	— wartość minimalna
Mn	— substancja mineralna
MPW	— metan pokładów węgla
MŚ	— Ministerstwo Środowiska
npm	— nad poziomem morza
OG	— obszar górniczy
PIG	— Państwowy Instytut Geologiczny
PIG-PIB	— Państwowy Instytut Geologiczny — Państwowy Instytut Badawczy
ppt	— pod powierzchnią terenu
SM	— seria mułowcowa
SPA	— seria paraliczna
USBM	— US Bureau of Mines (metoda degazacji swobodnej)

<i>C</i>	— karbon
<i>F</i>	— powierzchnia pokładu
<i>G</i>	— metanonośność próbki, pokładu
<i>H</i>	— miąższość pokładu (warstwy), strefy
<i>h</i>	— wysokość (położenie) w stosunku do poziomu morza
<i>hw</i>	— łupek węglowy
<i>M</i>	— miocen
<i>p</i>	— przerost skały płonnej w pokładzie węgla
<i>P</i>	— ciśnienie
<i>Q</i>	— czwartorzęd
<i>R</i>	— stałość występowania pokładu o grubości bilansowej

R_o	— refleksyjność wityrynytu
T	— trias
V	— pojemność sorpcyjna węgla (metanopojemność)
V^{daf}	— zawartość części lotnych w stanie suchym i bezpopiołowym
Z	— metanozasobność pokładu
ρ	— gęstość objętościowa

Wprowadzenie

Region górnośląski, najbardziej uprzemysłowiony w kraju i liczący ok. 5 mln mieszkańców, jest ogromnym rynkiem zbytu energii. Metan występujący tu w pokładach węgla może stanowić dodatkowe, lokalne jej źródło dla odbiorców indywidualnych i przemysłowych. Dystrybucja tego nośnika może zwiększyć pewność dostaw energii, a także umożliwić obniżenie kosztów jej pozyskania i przesyłu. Zwrócono na to uwagę między innymi w najbardziej metanowych kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej, rozwijających systemy wydobywania i dystrybucji metanu kopalnianego, uzyskiwanego wskutek odmetanowania wyrobisk górniczych, i wykorzystujących ujęty metan na potrzeby własne lub sprzedających go odbiorcom zewnętrznym (np. GATNAR, 2005; KĘDZIOR, 2009a).

Termin „metan pokładów węgla” (MPW) oznacza akumulację metanu w pokładach węglowych, będące lub mogące stać się przedmiotem przemysłowej eksploatacji. Z uwagi na znaczne zasoby bilansowe metanu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW), szacowane na 90–120 mld m³ (GABZDYL, HANAK, 2005; KĘDZIOR, 2008a; KOTAS, 1994; KWARCINŚKI, 2006; MALON, TYMIŃSKI, 2011), MPW stanowi wciąż interesujący cel eksploatacyjny.

Przystropowa strefa gazonośna (metanonośna), obejmująca wtórnie nasycone metanem pokłady węgla i skały płonne zalegające w bliskim sąsiedztwie stropu węglonośnych utworów karbońskich, występuje w południowej części GZW (rys. 1.1). Nagromadzenie w niej metanu było możliwe między innymi z powodu przykrycia węglonośnego kompleksu karbońskiego grubym i szczelnym pakietem ilastym mioceńskiej formacji skawińskiej (rys. 1.2).

Gazonośne pokłady węgla występujące przy stropie utworów karbońskich stały się przedmiotem zainteresowania inwestorów zagranicznych, zajmujących się otworową eksploatacją MPW jako kopaliny głównej. Zachętą były spodziewane lepsze warunki otworowej eksploatacji MPW w stosunku

do głęboko zalegających pokładów węglowych, z których próbna eksploatacja tego gazu, prowadzona w latach dziewięćdziesiątych XX w., się nie powiodła.

Wydobycie MPW z niezagospodarowanych złóż węgla (pól dziewiczych) do dziś stanowi spore wyzwanie, zważywszy że dotychczas wszelkie próby pozyskania tego gazu w Europie na skalę przemysłową zakończyły się niepowodzeniem, gdy tymczasem w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Australii czy Chinach otworowe pozyskiwanie MPW przynosi wymierne korzyści gospodarcze (np. GRZYBEK, KROGULEC, 1998; FLORES, 1998; KĘDZIOR *et al.*, 2007; MURRAY, 2000; PALMER, 2010; THOMAS, 2002).

O zainteresowaniu wydobywaniem MPW w Europie świadczy działalność przedsiębiorstw i kompanii naftowych, takich jak Composite Energy lub Eur Energy Resources, zmierzająca do precyzyjnego rozpoznania warunków występowania i możliwości eksploatacji MPW głównie w Wielkiej Brytanii, Belgii, Niemczech oraz w Polsce — w zagłębiach górnośląskim i lubelskim. W 2006 r. Ministerstwo Środowiska przydzieliło kolejną koncesję na poszukiwanie i rozpoznawanie MPW w centralnej części niecki głównej. Adresatem koncesji była firma Eur Energy Resources¹ z kapitałem amerykańskim (KĘDZIOR *et al.*, 2007, rys. 1.1).

Wieloletnie badania dotyczące występowania przystropowej strefy gazonośnej GZW, prowadzone przez autora niniejszej rozprawy, skłoniły do sformułowania tezy, że omawiana strefa stanowi samodzielną akumulację metanu, której występowanie powiązane jest ściśle z rozwojem geologicznym zagłębia oraz z budową geologiczną partii stropowej węglonośnych utworów karbońskich. Z kolei

¹ W grudniu 2010 r. koncesję na poszukiwanie i rozpoznawanie MPW w obszarze niecki głównej odkupiła spółka Composite Energy Poland, a następnie (luty 2011 r.) 100% udziałów tej spółki nabyła firma Dart Energy Poland.

parametry zbiornikowe pokładów węgla w obrębie tej strefy przedstawiają się korzystniej niż parametry pokładów głęboko leżących. Zatem celem pracy jest określenie położenia przystropowej strefy gazonośnej w systemie gazonośnym karbonu i mioce-
nu GZW oraz przeanalizowanie parametrów zbiornikowych węgla jako podstawowego akumulatora metanu, mających zasadniczy wpływ na postęp jego eksploatacji z pokładów. Przedyskutowano również możliwości ujmowania MPW w nawiązaniu do wyników osiągniętych w trakcie realizacji wymienionego celu.

Autor rozprawy składa serdeczne podziękowania zarówno pracownikom spółki „Karbonia” PL i działów mierniczo-geologicznych KWK „Krupiń-

ski”, „Silesia”, „Marcel”, „Pniówek” oraz „Zofiówka” za pomoc w trakcie poboru próbek węgla i skał płonnych, jak i kadrze Zakładu Geologii i Geochemii Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie za wykonanie analiz petrofizycznych próbek i nieodpłatną pomoc w interpretacji wyników. Dziękuje również pracownikom obsługującym archiwa Państwowego Instytutu Geologicznego — Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie i Sosnowcu za pomoc oraz zaangażowanie w udostępnianiu materiałów niezbędnych do realizacji pracy. Wyrazy wdzięczności winien jest także recenzentom, których cenne rady i wskazówki merytoryczne były bardzo pomocne w realizacji niniejszego opracowania. Panu Markowi Hałczyńskiemu autor dziękuje za pomoc w komputerowym wykonaniu map zmienności parametrów przystropowej strefy gazonośnej.

1. Metan pokładów węgla z punktu widzenia surowcowego

1.1. Metan jako kopalina

Metan towarzyszący formacjom węglonośnym, mimo zagrożeń, jakie niesie w trakcie wydobywania węgla, traktowany jest jako kopalina użyteczna i stosowany jako surowiec energetyczny oraz chemiczny. Światowe zasoby metanu z pokładów węgla szacowane są na $84\text{—}350 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ (RYCHLICKI, TWARDOWSKI, 2001), co w porównaniu z potencjalnymi zasobami konwencjonalnego gazu ziemnego, ocenianymi na ok. $260 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ (SMAKOWSKI *et al.*, 2010), stwarza duże możliwości. Metan pokładów węgla można bowiem pozyskać jako:

- metan występujący w niezagospodarowanych złożach węgla (polach dziewiczych), którego eksploatacja odbywa się otworami powierzchniowymi niezależnie od wydobycia węgla;
- metan kopalniany (*coal mine methane*), otrzymywany systemami podziemnego odmetanowania z czynnych kopalń wraz z wydobyciem węgla;
- metan z nieczynnych kopalń (*abandoned mine methane*), eksploatowany otworowo ze starych zrobów kopalnianych po zakończeniu wydobywania węgla.

Gaz pozyskiwany z trzech wymienionych źródeł różni się składem cząsteczkowym. W składzie gazu z pól dziewiczych oraz z nieczynnych kopalń (starych zrobów) dominuje metan (najczęściej > 90%), a pozostałe składniki stanowią: etan, propan oraz butan, a także dwutlenek węgla, azot i sporadycznie hel. Gaz kopalniany to mieszanka metano-powietrzna o zawartości metanu rzędu 40—60%, azotu (ok. 30%) oraz tlenu, dwutlenku węgla i innych gazów kopalnianych.

Występuje pewna rozbieżność, jeśli chodzi o stosowanie pojęć „metan” i „gaz”. W przypadku GZW, w którym w gazie złożowym przeważa metan, używanie obu tych terminów zamiennie nie

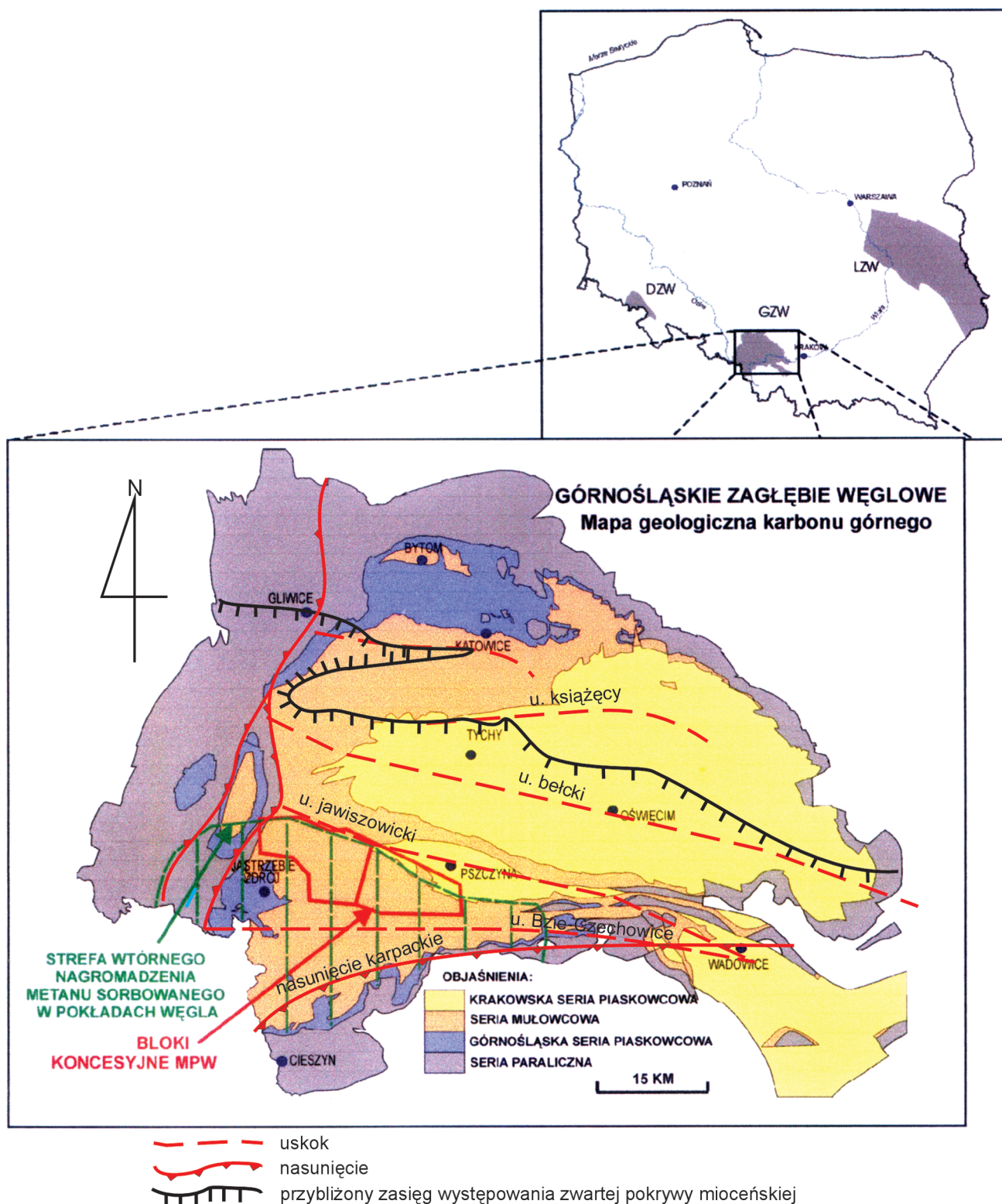
powinno budzić kontrowersji. Dotyczy to także gazu kopalnianego ze względu na zagrożenia gazowe, których „sprawcą” jest przede wszystkim metan. Nieco inaczej jest w przypadku gazu o bardziej złożonym składzie cząsteczkowym, np. gazu towarzyszącego serii węglonośnej zagłębia dolnośląskiego, w którym dominują dwa składniki — metan i dwutlenek węgla. Wtedy należy wyraźnie oddzielić oba terminy, także w kontekście pojęć pochodnych, w rodzaju „gazonośność” czy „metanośność”.

Gazy towarzyszące pokładom węgla występują w trzech zasadniczych formach. Są to:

- gazy sorbowane, które są fizykochemicznie związane z substancją węglową,
- gazy wolne wypełniające pory i szczeliny w pokładach węgla oraz skałach płonnych,
- gazy rozpuszczone w wodach złożowych, bez większego znaczenia.

W złożach węgla zdecydowanie przeważa metan sorbowany, stanowiący do 90% gazu występującego na przykład w serii węglonośnej GZW (NIEMCZYK, 1984). Podstawowym parametrem określającym ilość (zasoby) metanu w złożach jest metanośność węgla (np. NIEĆ, 1993, 2010), definiowana jako objętość metanu i innych gazowych homologów zawarta w jednostce masy bezwodnej i bezpopiołowej (czystej) substancji węglowej (csw). Parametr ten służy także do określenia kategorii zagrożenia metanowego w danym pokładzie węgla (np. KOZŁOWSKI, 1982; KOZŁOWSKI, GRĘBSKI, 1982).

W Polsce metan traktowany jest jako kopalina towarzysząca złożom węgla kamiennego od 1962 r. i podlega zasadom dokumentowania przewidzianym w prawie geologicznym i górnictwie (np. KĘDZIOR, 2008a). Od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku metan współwystępujący z węglem traktuje się także jako kopalinę główną.

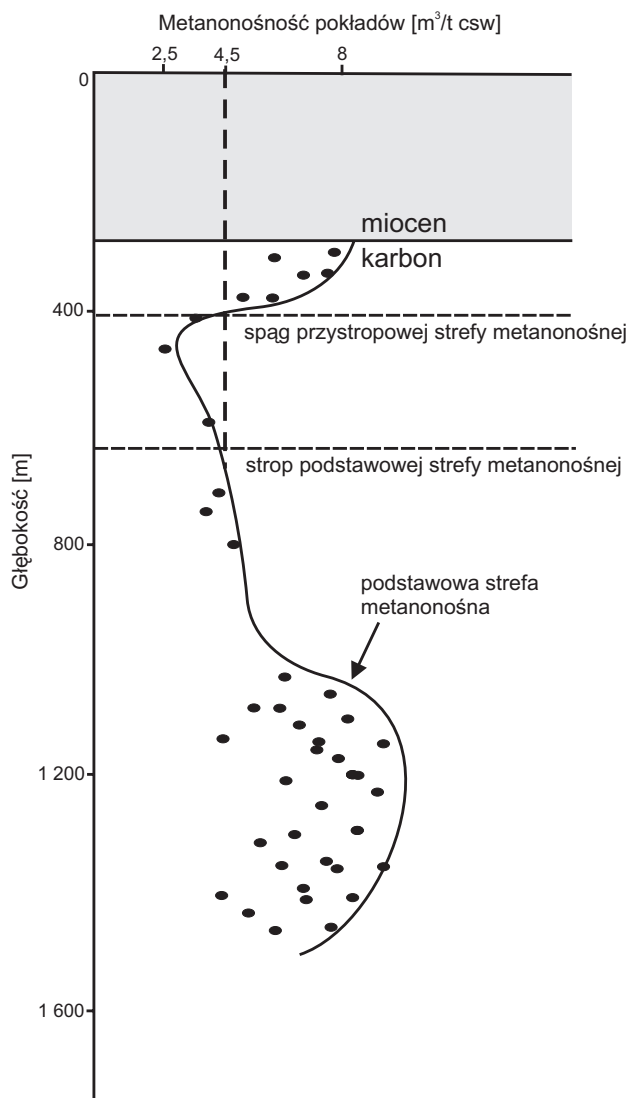


Rys. 1.1. Lokalizacja wtórnej (przystropowej) strefy metanu sorbowanego w pokładach węgla w GZW (wg materiałów Ministerstwa Środowiska, www.mos.gov.pl/dg, zmodyfikowane)

Dla metanu jako kopaliny głównej i towarzyszącej obowiązują różne kryteria bilansowości (tabela 1.1).

Przedstawione w tabeli 1.1 kryteria bilansowości zostały oparte na doświadczeniach dotyczących zarówno przepływu metanu w pokładach węgla, jak i technicznych uwarunkowań eksploatacji. Wartość

4,5 m³/t csw, wyznaczona na podstawie izoterm sorpcji Langmuira (np. Nieć, 1993, 2010), uznana została za najmniejszą uzasadniającą przemysłową eksploatację tego gazu (HUNT, STEELE, 1991), z kolei od wartości 2,5 m³/t csw, wyinterpretowanej na podstawie kresu górnego przedziału ufności metanonośności resztkowej (2,09 m³/t csw) na po-



Rys. 1.2. Rozkład pionowy metanonośności pokładów węgla w południowo-zachodniej części GZW (KĘDZIOR, 2011; KOTAS, 1994, zmienione)

ziomie 95%, możliwe jest samoczynne oddawanie metanu przez węgiel (KANDORA, GRZYBEK, 1992). W przypadku metanu jako kopaliny głównej wartość 2,5 m³/t csw została uznana także za wartość brzeżną wyznaczającą kontur złoża pozabilansowego.

Minimalna miąższość pokładu węgla dla metanu jako kopaliny głównej wynosząca 0,6 m została określona zgodnie z technologią otworowego udostępniania pokładów przez perforację rur okładzinowych, gdyż dokładność lokalizacji miejsc perforacji wynosi ok. 0,5 m (NIEĆ, 2010).

Metan jako kopalina towarzysząca ujmowany jest otworami dołowymi systemu odmetanowania z całego górotworu, stąd też miąższość pokładu nie ma tu większego znaczenia i minimalna wartość brzeżna miąższości została ustalona na 0,1 m (NIEĆ, 2010).

Głębokość maksymalna otworowego pozyskiwania metanu jako kopaliny głównej wynika z międzynarodowych doświadczeń i — zdaniem niektórych specjalistów — wynosi ok. 1 600 m, choć przeciętnie MPW pozyskuje się do głębokości ok. 700—800 m (NIEĆ, 2010). Znane są przypadki wydobywania metanu otworami z głębokości ok. 1 200 m (np. GRZYBEK, KROGULEC, 1998; PASHIN, 2010). Zagadnienie to zostanie omówione szerzej w rozdziałach 6 i 7.2. Dla metanu jako kopaliny towarzyszącej przyjęto taką samą jak w przypadku kopaliny głównej (węgla) maksymalną głębokość eksploatacji.

Rozważane są propozycje włączenia do kryteriów bilansowości metanu jako kopaliny głównej parametrów związanych z produktywnością złoża (przepuszczalności pokładów; np. NIEĆ, 1993), jednak z uwagi na znikomą liczbę danych na ten temat na razie nie jest to możliwe.

Pozyskiwanie MPW należącego do złóż niekonwencjonalnych typu ciągłego różni się diametralnie od wydobywania konwencjonalnego gazu ziemnego. Podstawową różnicą jest forma występującego metanu (metan sorbowany) i — co się z tym wiąże — ciśnienie w złożu. MPW należący do złóż niskociśnieniowych (ciśnienie gazu jest z reguły niższe od hydrostatycznego) nie może być wydobyty dzięki własnej energii złożowej, jak gaz z klasycznego złoża gazu ziemnego. Konieczne jest wypompowanie pewnej ilości wody przed rozpoczęciem eks-

Tabela 1.1. Kryteria bilansowości złóż dla metanu w pokładach węgla kamiennego (Rozporządzenie, 2001)

Parametr	Wartość brzeżna	
	kopalina główna	kopalina towarzysząca
Maksymalna głębokość dokumentowania [m]	1 500	do głębokości udokumentowania kopaliny głównej
Minimalne zasoby bilansowe [mln m ³]	—	60 (<60)*
Minimalna metanonośność wyznaczająca kontur strefy złożowej [m ³ /t csw]	4,5	4,5 (>2,5)*
Minimalna średnia metanonośność w obrębie konturu strefy złożowej (wydzielonej części złoża) [m ³ /t csw]	2,5 (większa od resztkowej)*	większa od resztkowej
Minimalna miąższość pokładu węgla kamiennego [m]	0,6	0,1

* W nawiasach podano wartości brzeżne dla złoża pozabilansowego.

ploatacji gazu, w celu obniżenia ciśnienia złożowego, i tym samym umożliwienia przyływu metanu do otworu, oraz stymulowanie przyływu przez szczelinowanie hydrauliczne (np.: GRZYBEK, 1992; HERMAN, SIEMEK, 1994; KWARCINŚKI, HADRO, 2008; RYCHLICKI, TWARDOWSKI, 2001). Z tego też względu traktowanie w naszym kraju MPW na równi z konwencjonalnym gazem ziemnym w aspektach prawnym, technicznym i ekonomicznym wydaje się przyczyną dotychczasowych niepowodzeń we wdrożeniu technologii jego pozyskiwania na szeroką skalę. Zagadnienia te szerzej zostaną omówione w rozdziale 7.

Udokumentowane zasoby MPW w Polsce występują w 51 złożach w obszarze GZW. Zasoby wydobywalne bilansowe wynoszą 90,0 mld m³, w tym w obszarach eksploatowanych 27 złóż węgla — 28,7 mld m³, poza obszarami eksploatacji złóż węgla — 27,0 mld m³ w 16 złożach oraz 34,3 mld m³ w 9 złożach, w których metan występuje jako kopalina główna (MALON, TYMIŃSKI, 2011).

Obecnie metan eksploatowany jest w naszym kraju jedynie wskutek odmetanowania złóż węgla kamiennego (kopalina towarzysząca) i wyłącznie w GZW. W 2010 r. w ten sposób wydobyto 232,4 mln m³ metanu, natomiast 481,5 mln m³ wyemitowano z wentylacją do atmosfery (MALON, TYMIŃSKI, 2011), co z pewnością niekorzystnie wpłynie na środowisko naturalne. Zatem zwiększenie wydobywania i wykorzystania metanu kopalnianego oraz wszczęcie pozyskiwania MPW z obszarów niezagospodarowanych górniczo jest działaniem bardzo pożądanym.

Dotychczasowe badania dotyczące produkcji MPW wykazały (np. HADRO, 2006; SCOTT, 2002), że wybór najdogodniejszego obszaru, jeśli chodzi o otworową eksploatację MPW (celu eksploatacyjnego), wymaga dokładnego przeanalizowania wielu czynników związanych zarówno z gazononością złoża, jak i zdolnością oddawania gazu w stopniu umożliwiającym jego przemysłowe wydobywanie (produktywność złoża). Z tego względu czynniki, o których mowa, można podzielić na dwie grupy (HADRO, 2006; SCOTT, 2002):

- czynniki związane z ilością metanu w złożu (gazononością złoża), obejmujące miąższość i stopień wykształcenia (ciągłość występowania) pokładów węgla, stopień uwęglenia pokładów i rozproszonej materii organicznej w skałach płonnych, nasycenie pokładów metanem oraz skład cząsteczkowy gazu;
- czynniki związane z produktywnością złoża, do których należą przepuszczalność oraz warunki hydrodynamiczne (hydrogeologiczne) panujące w złożu.

W związku z tym przeprowadzona w niniejszej pracy analiza przystropowej strefy metanonośnej, będącej celem eksploatacyjnym MPW, obejmie wymienione grupy czynników w kontekście uwarunkowań geologicznych, petrofizycznych oraz eksploatacyjnych.

1.2. Rys historyczny oraz metody eksploatacji MPW

Problem zagospodarowania i utylizacji metanu występującego w złożach węgla pojawił się wraz z zagrożeniami, jakie gaz ten niesie w trakcie eksploatacji górniczej (np.: FLORES, 1998; KRAUSE, KOBIELA, 1995; KRZYSTOLIK, 1997). Z uwagi na palność i wybuchowość metanu konieczne stało się jego ujmowanie i odprowadzanie poza obręb eksploatowanej części złoża (np. KOZŁOWSKI, GRĘBSKI, 1982; ROSZKOWSKI *et al.*, 1997). Ujmowany gaz z czasem zaczęto ubocznie wykorzystywać do celów użytkowych. Zadecydowała o tym zawartość metanu w odprowadzanym gazie (powyżej 30%) i wartość kaloryczna gazu (ok. 25—30 MJ/m³), umożliwiającą jego spalanie i wytwarzanie energii.

Krajem pionierskim, w którym wdrożono i rozwinięto systemy ujmowania i utylizacji gazu występującego w formacjach węglonośnych, są Stany Zjednoczone Ameryki, gdzie od wczesnych lat XX w. podejmowano liczne działania zmierzające do zredukowania zagrożenia metanowego w kopalniach węgla oraz próby niezależnego od eksploatacji węgla otworowego pozyskiwania metanu jako samodzielnej kopaliny (np. FLORES, 1998; RYCHLICKI, 2001). Momentem przełomowym, od którego datuje się dynamiczny rozwój technik otworowego pozyskiwania metanu ze złóż węgla w USA, była katastrofa górnicza w kopalni węgla w Farmington, w Wirginii Zachodniej, w 1968 r., w której zginęło 78 górników (<http://coalbed.com>). Zdecydowano wtedy o zintensyfikowaniu prac zmierzających do zwiększenia bezpieczeństwa górniczego, między innymi przez odprowadzanie metanu na powierzchnię z użyciem otworów wiertniczych. Pracom tym patronowało tamtejsze Biuro ds. Kopalń (US Bureau of Mines). Technikę otworowego pozyskiwania metanu ze złóż węglowych ostatecznie opanowano w latach osiemdziesiątych XX w., a obszarem wiodącym było zagłębie Black Warrior w stanie Alabama, jednak i w innych zagłębiach węglowych USA praktykowano tego rodzaju pozyskiwanie metanu (szczególnie w zagłębiu San Juan, w stanach Nowy Meksyk i Kolorado, uchodzącym za zagłębie o największym wy-

dobyciu MPW na świecie). Na początku lat dziewięćdziesiątych minionego wieku roczne wydobycie metanu z pokładów węgla w USA wynosiło ok. 50 mld m³, w tym ok. 30 mld m³ przypadało na eksploatację otworami powierzchniowymi, co stanowiło ok. 10% wydobycia gazu ziemnego w tym kraju.

Wzorem USA także inne kraje z powodzeniem pozyskiwały metan za pomocą powierzchniowych otworów wiertniczych. Wydobywanie metanu otworami powierzchniowymi z czynnych kopalń węgla wdrażano również w Chinach (np. SANG *et al.*, 2010), a od połowy lat dziewięćdziesiątych XX w. metan eksploatowano z pól dziewiczych w Australii (stan Queensland; KINNON *et al.*, 2010), natomiast od ok. 2000 r. — w Kanadzie (Kolumbia Brytyjska). W Europie (w tym w Polsce) otworowa eksploatacja MPW z pól dziewiczych nie wyszła na razie poza fazę prac studialnych i testów. Powodzenie eksploatacji gazu z niekonwencjonalnych źródeł (jak metanu z pokładów węgla) wymaga wsparcia ze strony państwa (np. w postaci ulg podatkowych), z czego skorzystało między innymi górnictwo Stanów Zjednoczonych (np. FLORES, 1998).

W Polsce pozyskiwanie metanu ze złóż węgla ma miejsce od początku lat pięćdziesiątych XX w. W latach 1950—1974 eksploatowano metan płytkimi otworami powierzchniowymi, o głębokości 130—300 m, z piaskowców występujących przy stropie karbonu na obszarze górniczym Markłowice (złoże metanu wolnego), w celu zredukowania jego obecności w przyszłych wyrobiskach kopalnianych (obecnie KWK „Marcel” w Wodzisławiu Śląskim; np. BERGER, NOWAK, 1998). W tym okresie ujęto 330 mln m³ metanu, czego skutkiem było znaczne zmniejszenie jego ilości w górotworze i w konsekwencji odmetanowanie wyrobisk eksploatacyjnych nie było konieczne (KOZŁOWSKI, GRĘBSKI, 1982). Także w KWK „Moszczenica” w Jastrzębiu-Zdroju ujmowano metan jednym otworem powierzchniowym przez kilka lat w ilości 2 m³/min (KRZYSTOLIK, KOBIELA, 1992). Od 1964 r. eksploatowano metan wolny kilkoma płytkimi otworami powierzchniowymi z piaskowców łaziskich, występujących w złożu KWK „Silesia”. W pierwszym etapie eksploatacji (lata 1965—1971) ujęto 10,75 mln m³ gazu (GRUDNIK, WĄTOR, 2000; zob. rozdział 4.4.1).

Ujmowanie metanu, polegające na odmetanowaniu złoża za pomocą otworów wierconych z powierzchni, prowadzone jest w GZW na niewielką skalę i ma marginalne znaczenie (KRZYSTOLIK, KOBIELA, 1992). W całym okresie eksploatacji ujęto tym sposobem ok. 400 mln m³ metanu. O wiele większa ilość pozyskiwanego gazu pochodzi z odmetanowania podziemnego wyrobisk kopalnia-

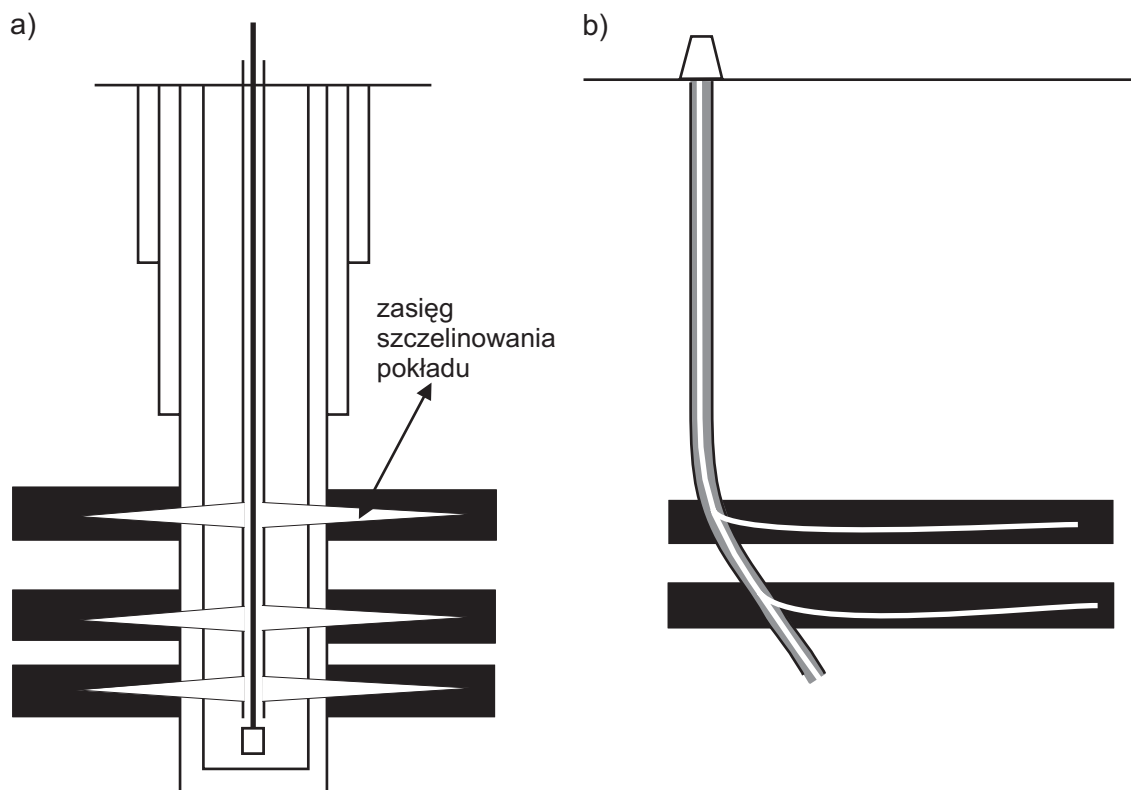
nych, zapoczątkowanego w 1958 r. w KWK „Silesia” i kontynuowanego do czasów obecnych. Do 2006 r. ujęto ok. 10 mld m³ metanu (KĘDZIOR *et al.*, 2007; KWARCINŚKI, HADRO, 2008). Rozwój wydobycia metanu systemami podziemnego odmetanowania trwa nadal, gdyż wymuszony jest stale rosnącą głębokością eksploatacji górniczej i tym samym zwiększającą się ilością metanu w złożach oraz postępującą koncentracją wydobycia węgla (np. KĘDZIOR, 2009a). Dotyczy to w szczególności kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej.

Pozyskiwanie metanu ze złóż węgla nabrało w naszym kraju nowego znaczenia na początku lat dziewięćdziesiątych XX w., ponieważ zainteresowano się eksploatacją MPW jako kopaliny głównej z tzw. pól dziewiczych, czyli dotąd niezagospodarowanych górniczo, z zastosowaniem technik desorpcyjnych, na wzór USA. Ministerstwo Środowiska przydzieliło wówczas koncesje na poszukiwanie i rozpoznanie MPW następującym podmiotom polskim i zagranicznym (RYCHLICKI, TWARDOWSKI, 2001):

- Amoco Poland Ltd. uzyskało koncesję w 1993 r. na obszarze o powierzchni 486 km² w centralnej części GZW. Osiem z 15 otworów odwierconych w latach 1994—1996 wykorzystano do próbnej eksploatacji metanu.
- Pol-Tex Methane — Texaco Inc. otrzymało 5 koncesji poszukiwawczych, w ramach których wspólnie z McKenzie Methane Poland odwiercono 7 otworów; następnie, po odkupieniu udziałów McKenzie Methane Poland przez Pol-Tex i podpisaniu porozumienia z Texaco Poland, w 1995 r. przystąpiono do dalszych prac poszukiwawczych, polegających na wykonaniu dwóch zespołów otworowych na obszarze Warszowice-Pawłowice i przeprowadzeniu testów produkcyjnych metanu na przełomie lat 1997 i 1998.
- Metanel S.A. w ramach koncesji wykonał 3 otwory poszukiwawcze metanu w obszarze złoża Silesia w latach 1994—1996, po czym przeprowadził testy produkcyjne. Następnie prowadził próbną eksploatację gazu z jednego otworu ze złoża metanu sorbowanego Silesia-Głęboka.
- McCormic otrzymał koncesję na poszukiwanie metanu we wschodniej części GZW na dwóch blokach, jednak nie wykonał żadnych otworów poszukiwawczych.

Poza wymienionymi, był także projekt odgazowywania kopalń węgla Electrogaz Ventures Ltd., jednak z powodu rygorystycznych norm dotyczących ochrony środowiska, nałożonych przez lokalne władze, został zawieszony (RYCHLICKI, TWARDOWSKI, 2001).

Wspomniane firmy zastosowały nowoczesną, na owe czasy, technologię pozyskiwania MPW,



Rys. 1.3. Schemat otworów do produkcji MPW:

a — otwór pionowy udostępniający kilka pokładów, **b** — otwór horyzontalny, wielopoziomowy

polegającą na udostępnianiu wielu pokładów jednocześnie (rys. 1.3a) i sztucznym zwiększaniu przepuszczalności złoża przez szczelinowanie hydrauliczne, z użyciem między innymi pianki azotowej jako środka szczelinującego oraz piasku wypełniającego powstałe szczeliny, w celu ich ochrony przed zaciśnięciem. Jednak uzyskane wydajności gazu okazały się niewystarczające do podjęcia eksploatacji przemysłowej. Po paru dniach wysokich początkowych wydajności (w niektórych otworach rzędu 1 000—3 000 m³/dobę) ilość uzyskiwanego gazu raptownie spadała, stabilizując się na poziomie niższym od 500 m³/dobę (rys. 1.4), czyli poniżej progu opłacalności produkcji MPW. Z tego między innymi powodu większość podmiotów zrzekła się koncesji pod koniec lat dziewięćdziesiątych XX w. Koncesje zachowały jedynie firmy Metanel oraz Pol-Tex Methane.

Po 2000 r., wskutek wdrożenia bardziej zaawansowanych technologii eksploatacji MPW na świecie (USA, Kanada, Australia), polegających na zastosowaniu otworów horyzontalnych (rys. 1.3b), udostępniających znacznie większą powierzchnię pokładu, oraz skojarzeniu ich z wierceniem poniżej równowagi ciśnień gazu w otworze (*under ballance drilling*), w Polsce ponownie wzrosło zainteresowanie eksploatacją MPW (KWACIŃSKI, HADRO, 2008). Zwrócono uwagę również na dotąd pomijane,

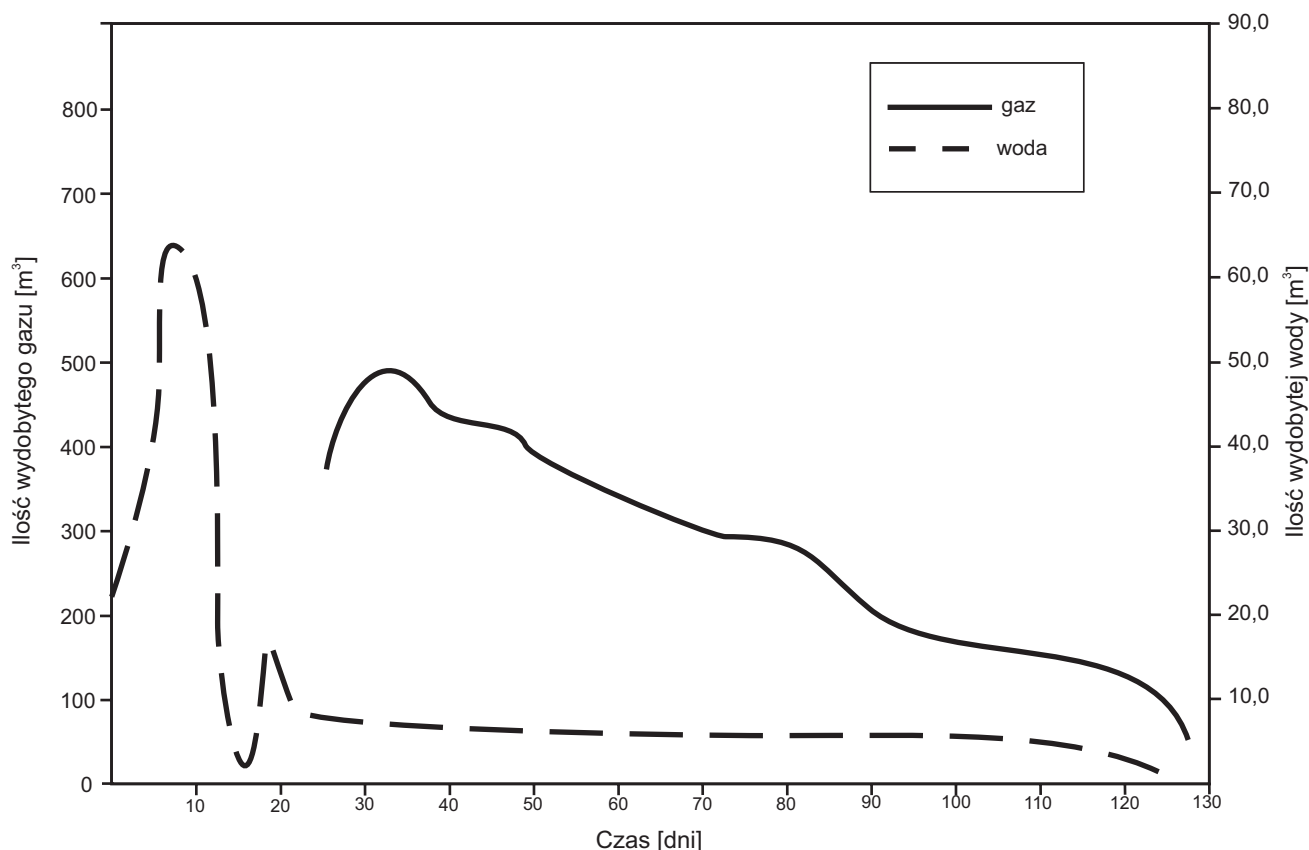
płytko zalegające wysokometanonośne pokłady węgla południowej części GZW, będące przedmiotem niniejszej rozprawy. W efekcie powtórnego zainteresowania poszukiwaniem metanu w naszym kraju oraz aktywnej polityki promocyjnej Ministerstwa Środowiska przydzielono nowe koncesje na poszukiwanie i rozpoznanie MPW w zagłębiach górnośląskim i lubelskim. Stan koncesji na dzień 1 sierpnia 2011 r. ilustruje tabela 1.2.

Poza podmiotami wymienionymi w tabeli 1.2, koncesje na wydobywanie metanu mają NWR Karbonia Sp. z o.o. (koncesja w fazie wydobywania metanu ze starych zrobów byłej KWK „Morcinek”, prowadzonego od 2004 r.) oraz Metanel S.A., z kolei koncesje na poszukiwanie i rozpoznanie węgla oraz MPW przyznano Jastrzębskiej Spółce Węglowej (3 koncesje), firmie CH₄ Sp. z o.o. (2 koncesje) oraz spółce NWR Karbonia (1 koncesja).

Niezależnie od tego, ponad 20 kopalń węgla GZW ma koncesje na wydobywanie metanu kopalnianego.

Reasumując, dotychczas stosowano następujące metody uzysku metanu z polskich złóż węgla (wg RYCHLICKIEGO i TWARDOWSKIEGO, 2001, uzupełnione):

- odmetanowanie wyrobisk podziemnych, polegające na wierceniu otworów z wyrobisk górniczych do metanonośnego górotworu w celu odprowadzenia metanu przez wytworzenie depre-



Rys. 1.4. Ilość wydobytego gazu i wody w trakcie testu produkcyjnego w jednym z otworów w rejonie Warszowic-Pawłowic (HADRO, 2006)

- sji; sposób ten praktykują kopalnie o zagrożeniu metanowym III i IV kategorii;
- eksploatacja pionowymi otworami wierconymi z powierzchni terenu do górotworu (pokładów węgla lub skał płonnych) w celu jego odgazowania przed rozpoczęciem robót górniczych (np. w KWK „1 Maja”, „Marcel”, „Moszczenica” czy „Silesia”);
 - eksploatacja pionowymi otworami powierzchniowymi wierconymi do starych zrobów górniczych (była KWK „Morcinek”);

- eksploatacja otworami pionowymi w polach dziewiczych, wierconymi z powierzchni do pokładów węgla, udostępniając kilka pokładów jednocześnie (metoda w fazie testów, na razie prowadzona bez powodzenia);
- eksploatacja metanu wskutek zatłaczania CO₂ (Enhanced CBM; ECBM) — projekt Recopol, realizowany na złożu Silesia w latach 2004—2005, w wyniku którego udało się zatłoczyć ok. 700 t CO₂, ale uzysk metanu z otworu był niewielki, prawdopodobnie z powodu zbyt

Tabela 1.2. Zestawienie koncesji na poszukiwanie i rozpoznawanie MPW wg stanu na dzień 1.08.2011 r. (<http://www.mos.gov.pl>)

Przedsiębiorca	Liczba koncesji
Cetus-Energetyka Gazowa Sp. z o.o.	5
Chelm LLP (Composite Energy Poland Sp. z o.o.)	1*
Dart Energy Poland Sp. z o.o. 1	1
European Diversified Resources Sp. z o.o.	1
Gazkop-1 Sp. z o.o. (Cetus-Energetyka Gazowa Sp. z o.o.)	1
Kompania Węglowa	1
Pol-Tex Methane Sp. z o.o.	2 (w tym 1 koncesja w fazie poszukiwawczo-rozpoznawczej)
Urządzenia i Konstrukcje S.A.	1
Werbkowice LLP (Composite Energy Poland Sp. z o.o.)	1*

* Na obszarze Lubelskiego Zagłębia Węglowego.

powolnej dyfuzji gazu z pokładów węgla (VAN BERGEN *et al.*, 2006).

Obecne prace nad pozyskiwaniem metanu z dziewiczych pól węglowych koncentrują się na wdrożeniu technologii otworów horyzontalnych w skojarzeniu z wierceniem poniżej równowagi ciśnień w otworze. Wiercenia horyzontalne obejmują znacznie większą powierzchnię pokładów węgla i w ten sposób obszar, z którego gaz jest uzyskiwany, staje się rozleglejszy, z kolei wiercenie poniżej równowagi ciśnień zapobiega zniszczeniu strefy przyotworowej (KWARCINSKI, HADRO, 2008). Prace studialne oraz działania zmierzające do wdrożenia tego sposobu wydobycia metanu (np. zakup odpowiedniego sprzętu) prowadzi między innymi spółka

Pol-Tex Methane w południowo-zachodniej części GZW (rejon Wodzisławia Śląskiego).

Trwają również prace nad wszczęciem wydobycia MPW w Lubelskim Zagłębiu Węglowym, w którym prace badawcze prowadzi między innymi szkocka firma Composite Energy, która na przełomie lat 2009 i 2010 wykonała trzy otwory poszukiwawcze w obszarze koncesyjnym Werbkowice-Tyszowce (rejon Zamościa).

Ponadto w kopalniach węgla Jastrzębskiej Spółki Węglowej stale unowocześniane są stacje odmetanowania i sposoby wykorzystania ujmowanego gazu kopalnianego, a sama spółka wykonuje otwory poszukiwawcze węgla i metanu w ramach posiadanych koncesji.

2. Stan badań

2.1. Związek gazonośności Górnośląskiego Zagłębia Węglowego z budową geologiczną

Terenem badań w skali regionalnej jest GZW, traktowane jako zapadlisko przedgórskie rozwinięte na przedpolu morawsko-śląskiej strefy fałdowej waryscydu, wypełnione utworami molasowymi (GRADZIŃSKI *et al.*, 2005; KOTAS, 1985; KOTAS, PORZYCKI, 1984). Badania i obserwacje rdzeni wiertniczych pochodzących z głębokich odwiertów wykonanych w rejonie Cieszyna, Bielska, Rzeszotaru, Goczałkowic i Andrychowa wykazały, że w podłożu zagłębia występują skały krystaliczne budujące masyw Brunnii — Górnego Śląska o konsolidacji kadmowskiej i spoczywające na nich osadowe utwory przynależne do kambru (mułowce z trylobitami i piaskowce) oraz dewonu (osady klastyczne budujące system dewonu dolnego i środkowego oraz węglanowe występujące w piętrach dewonu górnego) (BUKOWY, JURA, 1982; KOTAS, 1982).

Utwory karbonu GZW, zdaniem A. KOTASA (1982), budują trzy kompleksy litogenetyczne waryscyjskiego cyklu diastroficzno-sedymentacyjnego: górna część asocjacji węglanowej zaliczana do karbonu dolnego, asocjacja fliszowa na pograniczu karbonu dolnego i górnego oraz asocjacja molasowa utworów węglonośnych karbonu górnego, która stanowi właściwą serię złożową GZW zbudowaną z przewarstwiających się pakietów piaskowcowo-iłowcowo-mułowcowych oraz licznych pokładów węgla o różnej miąższości i wykształceniu.

Podział stratygraficzny serii węglonośnej GZW przechodził liczne zmiany i ewolucje wynikające z coraz lepszego poznania budowy geologicznej zagłębia oraz doskonalonych biostratygraficznych i litostratygraficznych metod badawczych. Jednym z wcześniejszych podziałów litostratygraficznych karbonu górnego GZW był podział autorstwa S. DOKTOROWICZA-HREBNICKIEGO i T. BOCHEŃSKIEGO

(1952), uwzględniający numerację pokładów węgla adekwatną do poszczególnych warstw karbońskich. Pierwsza z trzech cyfr numeru pokładu oznaczała jego przynależność do konkretnych warstw (rys. 2.1). Podział ten stosowany jest nadal w przemyśle wydobywczym. Intensywne prace badawcze nad litostratygrafią górnego karbonu GZW, prowadzone w latach pięćdziesiątych, sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX w. (DEMBOWSKI, 1972; KOTAS, 1972; KOTAS, MALCZYK, 1972a, 1972b; PORZYCKI, 1972; STOPA, 1957, 1967), doprowadziły do wyodrębnienia czterech serii litostratygraficznych w węglonośnym karbonie na podstawie typu genetycznego osadów oraz udziału utworów o różnej wielkości ziaren: serii paralicznej z charakterystycznymi poziomami morskimi, górnośląskiej serii piaskowcowej, serii mułowcowej oraz krakowskiej serii piaskowcowej (rys. 2.1). Podział górnego karbonu GZW na serie litostratygraficzne stanowi podstawę licznych opracowań naukowych (np.: BUŁA, KOTAS, 1994; KOTAS *et al.*, 1983; KOTAS, 1995). W ostatnim czasie podział ten jest dostosowywany do międzynarodowego podziału stratygraficznego firmowanego przez International Commission of Stratigraphy (ISC; GRADSTEIN *et al.*, 2004; SKOMPSKI, 2009; rys. 2.1), sankcjonującego klasyfikację karbonu na pensylwan i missisip.

Nadkład węglonośnego karbonu jest bardzo zróżnicowany litostratygraficznie i zdaniem wielu autorów (np.: ALEXANDROWICZ, SIEDLECKI, 1960; ALEXANDROWICZ, 1963, 1964; BOGACZ *et al.*, 1984; BUŁA, JURA, 1983; JURA, 1992, 2001) zarówno wykształcenie, jak i miąższość nadkładu są ściśle powiązane z urozmaiconą morfologią stropu utworów karbonu, a ta z kolei w dużym stopniu jest pochodną procesów tektonicznych zachodzących na obszarze GZW między późnym karbonem a mioce-
nem (np. BUŁA *et al.*, 2007). Procesy te powodowały ruchy wznoszące, będące przyczyną erozji węglonośnych osadów karbońskich (np.: KOSAKOWSKI *et al.*, 1995; KOTAS, 2001, PROBIERZ, LE-

Podział chronostratygraficzny				Ogniwa litostratygraficzne				Podział wg S. DOKTOROWICZA-HREBNICKIEGO i T. BOCHENSKIEGO (1952)
PENSYLVAN	ŚRODKOWY	WESTFAL	D	krakowska seria piaskowcowa	warstwy libiąskie	pokład 110	warstwy libiąskie (gr. 100)	
			C		warstwy łaziskie	pokład 119	warstwy łaziskie (gr. 200)	
			B	seria mułowcowa	warstwy orzeskie	pokład 201		
			A		poziom tufitowy	pokład 218		
	DOLNY	NAMUR	C	górnoska seria piaskowcowa	warstwy załęskie	pokład 301	warstwy orzeskie (gr. 300)	
			B		warstwy rudzkie	pokład 326	warstwy rudzkie (gr. 400)	
			C	warstwy siodłowe	pokład 327			
			B	warstwy jejkowickie	pokład 364	warstwy siodłowe (gr. 500)		
			A	seria paraliczna	poziom morski Gaebler	pokład 401		
					warstwy porębskie	pokład 406		
warstwy grodzieckie c.d.*					pokład 407			
poziom morski Barbara					pokład 501			
warstwy jakłowieckie					pokład 510			
warstwy grodzieckie*								
poziom morski Enna								
warstwy gruszowskie								
MISSISIP	GÓRNY	NAMUR	A	seria paraliczna	warstwy florowskie*		warstwy gruszowskie (gr. 800)	
					poziom morski Nanetta	pokład 801		
					warstwy pietrkowickie	pokład 848		
					warstwy sarnowskie*	pokład 901	warstwy pietrkowickie (gr. 900)	
					poziom morski Štur	pokład 915		
					warstwy malinowickie			
					warstwy załaskie*			

Rys. 2.1. Podział stratygraficzny węglonośnego karbonu GZW (KOTAS, 1994; HECKEL, *vide*: SKOMPSKI, 2009)

* Wschodnia i południowo-wschodnia część GZW

WANDOWSKA, 2003; STUPNICKA, 1989). Północną i północno-wschodnią część GZW przykrywają detrytyczne i węglanowe osady permu, triasu i jury górnej. W południowej części zagłębia na utworach karbońskich spoczywa niezgodnie bardzo gruby pakiet miocenijskich osadów detrytycznych i chemicznych, przynależnych do molasy zapadliska przedkarpacciego, na które od południa nasuwają się jednostki fliszowe Karpat (np.: ALEXANDRO-

WICZ, 1963; BUŁA, JURA, 1983; GARECKA *et al.*, 1996; STUPNICKA, 1989).

Pod względem tektonicznym GZW podzielono na trzy strefy (np. BUŁA *et al.*, 1995; KOTAS, 1972, 1982, 1985):

- strefę tektoniki fałdowej, obejmującą zachodnią część zagłębia i wykazującą cechy tektoniki alpejskiej, w której charakterystycznymi strukturami są nasunięcia michałkowickie na zachodzie

- oraz orłowsko-boguszowickie na wschodzie, stanowiące granicę strefy, oraz niecki jejkowicka na zachodzie i chwałowicka między nasunięciami;
- strefę tektoniki blokowej (dysjunktywnej), rozpoczętą na przeważającej części GZW i odznaczającą się występowaniem struktur nieciągłych w postaci uskoków różnych systemów i zrzutów, z których pierwszoplanowymi są duże dyslokacje równoleżnikowe o kilkusetmetrowych zrzutach w kierunku południowym (np. uskok kłodnicki, jawiszowicki, Bzie-Czechowice), ponadto występują tu łagodne struktury fałdowe o orientacji NW-SE, z których najistotniejsze to niecka główna w centralnej części GZW, siodło główne na północ od niej oraz niecki bytomska, wilkowszyńska i chrzanowska na północy i północnym wschodzie zagłębia;
 - strefę tektoniki fałdowo-blokowej, najdalej wysuniętą na wschód zagłębia, bardzo wąską, o kulisowym układzie niesymetrycznych fałdów i łusek pociętych południkowymi uskokami.

Obecny styl tektoniki GZW wyjaśniany jest zarówno ruchami skonsolidowanego podłoża masywu Brunnii — Górnego Śląska (KOTAS, 1985), które doprowadziły do powstania różnowiekowej i wielokrotnie odmładzanej sieci uskokowej w pokrywie karbońskiej (np.: HERBICH, 1981; TEPPER, 1998; TEPPER, SAGAN, 1995), jak i ruchem obrotowym masywu w stosunku do struktur otaczających (np. BOGACZ, KROKOWSKI, 1981), który spowodował sfałdowanie i pocięcie uskokami brzeżnej części GZW (STUPNICKA, 1989).

W GZW występują wszystkie typy węgla. Stopień uwęglania pokładów zmienia się w sposób ciągły. Węgiel najwyższych typów (koksujący i specjalny) zalega na południowym zachodzie zagłębia (w rejonie Olzy, Wodzisławia i Jastrzębia), a w części północnej i wschodniej dominuje węgiel energetyczny (KOTAS *et al.*, 1983).

Zdaniem A. KOTASA (1971), współczesne pole uwęglania GZW zostało ukształtowane przez zmieniające się w czasie i przestrzeni pole geotermiczne po inwersji tektonicznej zagłębia, a przed sedimentacją osadów miocenских, w których stwierdzono występowanie ziemistych węgla brunatnych (KOTAS, 1971). Największe przestrzenne zmiany w uwęglaniu zachodzą wzdłuż osi głębokości, z kolei zmiany poziome są mniej wyraźne i na ogół nie nawiązują do stref tektonicznych, z wyjątkiem zmian o charakterze lokalnym w bardzo bliskiej odległości od niektórych uskoków (np. ĆMIEL, 2009). Zarysowujące się równoleżnikowe depresje oraz elewacje pola uwęglania sprawiają, że strefy o jednakowym stopniu uwęglania występują na różnej głębokości (KOTAS, 1987). Związek między stopniem uwęglania pokładów a polem cieplnym

GZW stwierdzili także między innymi K. CHMURA i M. LEPA (1976) oraz J. MAJOROWICZ (1978).

Gazoność zagłębia jest bardzo zróżnicowana zarówno w profilu pionowym, jak i w poziomie. Ogólnie ilość metanu w pokładach węgla wzrasta wraz z głębokością; do najbardziej gazonośnych należą poziomy mieszczące się w zakresie –500—–1 000 m npm (RYCHLICKI, TWARDOWSKI, 2001). Na południu i południowym zachodzie, w płytkich partiach złóż tuż pod szczelnym nadkładem mioceńskim, występują wysokie koncentracje metanu. Północną i wschodnią część GZW charakteryzuje niższa metanoność, metanonośne pokłady węgla pojawiają się na głębokości poniżej 1 000 m. Metanoność pokładów węgla GZW jest bardzo zróżnicowana, zawiera się w granicach 0,001—1 m³/t csw w płytszych partiach karbonu do ok. 20 m³/t csw na większych głębokościach (np. PEKAŁA, 1992a, b).

Zagadnienie gazonośności złóż węgla GZW było rozpatrywane przede wszystkim ze względu na zagrożenia metanowe w kopalniach. Nabierało coraz większego znaczenia wraz z pojawianiem się metanu w drażonych wyrobiskach górniczych na coraz większych głębokościach. Problem ten szczególnie nasilił się w trakcie udostępniania wysokogazonośnych złóż rejonu jastrzębsko-rybnickiego w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX w. Zaczęto wtedy doszukiwać się przyczyn obserwowanych w kopalniach zjawisk gazowych w budowie geologicznej obszarów eksploatacji węgla. Problematyce tej poświęcono wiele opracowań (np.: MITURA, 1955, 1956; POBORSKI, 1960; BOROWSKI, 1965, 1968; TARNOWSKI, 1971), których autorzy dużą rolę w rozmieszczeniu gazonośnych stref w górotworze przypisywali stopniowi uwęglania pokładów (zależność pozytywna) oraz tektonice uskokowej i fałdowej, dopatrując się dopasowania orientacji obszarów o podwyższonej gazonośności do kierunków głównych uskoków (np. Bzie-Czechowice) oraz nasunięć orłowsko-boguszowickiego, michałkowickiego i karpackiego. Dużą rolę w zatrzymaniu migrujących gazów, zdaniem autorów, odegrał szczelny nadkład mioceński. Poglądy te nawiązywały do prac przedwojennych badaczy (np. CZARNOCKI; PATTEISKY, *vide*: MITURA, 1955).

Z uwęglaniem pokładów wiązano genezę gazów towarzyszących pokładowi węgla, twierdząc, że metan jest jednym z produktów procesu uwęglania zarówno pokładów węgla, jak i rozproszonej materii organicznej w skałach płonnych (np. MITURA, 1955, 1956), zatem ilość metanu w węglu byłaby ściśle uzależniona od stopnia uwęglania. Jedną z przyczyn uwęglania i towarzyszącego temu procesowi wydzielania się i migracji gazów było oddziaływanie termiczne wulkanizmu zachodzącego na obsza-

rze GZW od karbonu do miocenu (BOROWSKI, 1968; TARNOWSKI, 1989). Pojawiały się także poglądy na temat migracji metanu z podłoża karbonu (z substancji organicznej zawartej w kompleksie kambr-karbon dolny) do pokładów węgla (GUNTHER; MULLEROWA *et al.*, *vide*: KOTARBA, NEY, 1995; POBORSKI, 1960; TARNOWSKI, 1971). Późniejsze badania potwierdziły występowanie warunków sprzyjających generowaniu i akumulacji węglowodorów w podłożu węglonośnego karbonu, a zwłaszcza w utworach dewonu lub karbonu dolnego o obiecujących wskaźnikach macierzystości skał (KARNKOWSKI, 1993; KOTARBA, NEY, 1995; KOTARBA *et al.*, 2004).

Wyjaśnienie genezy metanu w utworach węglonośnych GZW było możliwe dzięki zastosowaniu analizy trwałych izotopów węgla i wodoru w metanie, etanie i dwutlenku węgla w powiązaniu z wynikami analiz petrograficznych, izotopowych i elementarnych węgli oraz budową geologiczną złóż (KOTARBA, NEY, 1995). Badania te wykazały, że w serii węglonośnej GZW dominują prawie wyłącznie gazy termokatalityczne wytworzone z humusowej materii organicznej na etapie uwęglania węgli kamiennych (KOTARBA, 1980, 1990, 2001). Proces wytwarzania metanu nastąpił w późnym karbonie, czyli z chwilą powstawania złóż węgla, i zakończył się przed fazą asturyjską. Nie jest wykluczone wznowienie procesu generowania metanu w wyniku poinwersyjnej aktywizacji reżimu geotermicznego, która spowodowała wielofazowe przeobrażenie węgli (np. KOTAS, 1971, 1985, 2001; MAJOROWICZ, 1978). Początkowo nie wskazywano na możliwość wytwarzania znacznych ilości metanu mikrobialnego w miocenie w wyniku infiltracji wód powierzchniowych, zawierających pożywki dla bakterii metanowych, do serii węglonośnej, poza nielicznymi przypadkami o charakterze lokalnym (KOTARBA, 1980). O możliwości wytworzenia w epoce miocenijskiej gazów pokładowych występujących współcześnie w partiach przystropowych karbonu, analogicznie do przypadku konwencjonalnych złóż gazu w zapadlisku przedkarpackim, wspominali J. KWARCINŚKI i B. NIEMCZYK (1989). Mikrobialne pochodzenie gazów występujących przy stropie karbonu zostało ostatecznie potwierdzone przez M.J. KOTARBĘ i I. PLUTĘ (2009) w wyniku badań izotopowych wód i gazów południowo-zachodniej części GZW.

Często poruszany problem odtwarzania procesów generowania ropy i gazu oraz oceny ilości wytworzonych węglowodorów na podstawie stopnia dojrzałości kopalnej materii organicznej i rozkładu paleotemperatur w odniesieniu do konwencjonalnych złóż węglowodorów (np.: HUNT *et al.*, 1991; PRICE, 1983; TISSOT, 1984; WAPLES, 1994) doczekał

się dyskusji także w stosunku do metanu występującego w pokładach węgla GZW.

W latach dziewięćdziesiątych XX w. podjęto próbę oceny bilansu generowania gazów z utworów węglonośnych GZW, stosując modelowanie komputerowe *Genex* (KOTARBA, NEY, 1995; KOWALSKI *et al.*, 1995; SEMYRKA *et al.*, 1995). Ustalono, że w procesie uwęglania powstało w GZW ok. 84 bln m³ metanu, z czego 48 bln m³ przypada na pokłady węgla, a pozostałe 36 bln m³ na rozproszoną materię organiczną zdeponowaną w kompleksie iłowcowo-mułowcowym karbonu górnego. Biorąc pod uwagę całkowitą pojemność gazową utworów górnokarbońskich GZW szacowaną na ok. 5,2 bln m³, w tym węgli na 3,4 bln m³ (KOTARBA *et al.*, 1995a), należy sądzić, że znaczna ilość metanu musiała opuścić macierzyste węgle. Późniejsze badania potencjału węglowodorowego utworów karbońskich z zastosowaniem hydropirolizy (KOTARBA, LEWAN, 2004) nieco zweryfikowały dane o ilości wytworzonych węglowodorów w GZW, niemniej jednak faktem jest, że ilość ta znacznie przekracza zdolności akumulacyjne utworów węglonośnych dla metanu i innych gazów.

Współczesne występowanie metanu w serii węglonośnej GZW stało się przedmiotem ożywionej dyskusji z chwilą zainteresowania się metanem pokładów węgla jako niezależnym surowcem energetycznym i podjętymi próbami jego eksploatacji (np.: BROMEK *et al.*, 1992; GRZYBEK, KUZAK, 1997; HEMZA, 1998; KĘDZIOR, 2000, 2002, 2009b; KOTARBA, NEY, 1995; KOTARBA *et al.*, 1995b; KOTAS, 1994; KWARCINŚKI, NIEMCZYK, 1989; NIEĆ, 1993; PEKAŁA, 1992a), chociaż dyskusja ta prowadzona była również wcześniej, głównie pod względem zagrożeń gazowych w kopalniach (np.: BOROWSKI, 1968; LISIECKI, 1986; TARNOWSKI, 1971, 1973, 1989). Materiałem wyjściowym opracowań były wyniki badań metanonośności pokładów węgla wykonywane w otworach wiertniczych (zapoczątkowane w 1964 r.) oraz wyrobiskach kopalnianych (np.: BOROWSKI, 1975; NIEMCZYK, 1984; NIEMCZYK, DANIEL, 1986; TWARDOWSKI, 1997a). Dyskusja koncentrowała się na kwestiach związanych z rolą poszczególnych elementów budowy geologicznej w ukształtowaniu pola gazonośności kopalń, obszarów niezagospodarowanych czy GZW jako całości. Szczególną rolę przypisywano tektonice fałdowej i uskokowej oraz litologii skał karbońskich i nadkładu miocenijskiego (np.: BOROWSKI, 1968; GRZYBEK, KUZAK, 1997; KĘDZIOR, 2002, 2009b; KWARCINŚKI, HADRO, 2008; STANIEK, 1986; STOLARZEWICZ, 1958; TARNOWSKI, 1971, 1973, 1989), traktując uskoki jako drogi migracji metanu, co miało uwidaczniać się między innymi w odgazowywaniu partii złóż w bliskim ich sąsiedztwie

(np.: GAWLIK, GRZYBEK, 2002; CHEĆKO, 2000; TARNOWSKI, 1989). Jednocześnie obserwowano uszczelniające oddziaływanie uskoków, uniemożliwiające migrację np. z powodu zawodnienia (FREIWALD, 1998) lub kompresyjnego charakteru dyslokacji (TARNOWSKI, 1989). Uskoki, dzielące złoża na bloki o różnym stopniu nasycenia gazem, często powodowały przesunięcia pola metanonośności zgodnie z kierunkiem ich zrzutu, co przyczyniało się do różnic metanonośności pokładów lub ciśnienia gazu na tym samym poziomie po obu stronach dyslokacji (np. GRZYBEK, KUZEK, 1997; TARNOWSKI, 1973). Litologia skał karbońskich za sprawą uszczelniających pakietów ilowcowo-mułowcowych karbonu oraz ilastych miocenu odpowiedzialna była za akumulację gazów lub za odgazowanie pokładów, z uwagi na występowanie w ich sąsiedztwie porowatych i przepuszczalnych piaskowców, np. łaziskich. Zaobserwowano przy tym tendencję do dopasowywania się powierzchni stropu pokładów metanowych do powierzchni stropu serii mułowcowej oraz niską metanonośność pokładów krakowskiej serii piaskowcowej (KOTAS, 1994; KWARCIŃSKI, HADRO, 2008). Zauważono też różnice w rozmieszczeniu gazonośnych stref głęboko leżących pokładów w fałdowej oraz blokowej (dysjunktywnej) części zagłębia (KĘDZIOR, 2000, 2002). Opisywane zależności między litologią i tektoniką GZW a występowaniem metanu były na ogół podobne jak w przypadku innych zagłębi węglowych w kraju i na świecie (np.: BOSSOWSKI, 1994; CATHYL-BICFORD, 1991; FASSET, 1988; KRAWCOW, 1979; KRAWCOW, EFREMOW, 1980; PASHIN, 1998; RADZIVILL, 1999; RÓŻKOWSKI, SOSNOWSKI, 1974).

Kolejną kwestią, jaka znalazła się w kręgu zainteresowania badaczy, okazała się zmienność metanonośności pokładów GZW wraz z głębokością ich zalegania w powiązaniu z temperaturą górotworu, uwęglaniem pokładów oraz ciśnieniem złożowym (np.: BOROWSKI, 1965; BOROWSKI, SOSNOWSKI, 1977; NIEĆ, 1993; RYCHLICKI, TWARDOWSKI, 2001; TARNOWSKI, 1989; TARNOWSKI, ZAWIERUCHA, 1994; TWARDOWSKI, 1997a, b). Wymienieni autorzy z reguły dopatrywali się tendencji wzrostowej metanonośności pokładów wraz z głębokością jako pochodnej zwiększania się pojemności gazowej węgla dla metanu, ściśle uzależnionej od stopnia uwęglania, oraz rosnącego ciśnienia hydrostatycznego. Wzrost metanonośności pokładów wraz z głębokością jest jednak wyhamowywany na głębokości rzędu 1 500—2 000 m, na której wysoka temperatura radykalnie obniża pojemność gazową węgla (np.: BOROWSKI, SOSNOWSKI, 1977; KARWASIECKA, 1996; KĘDZIOR, 2009b; NIEĆ, 1993; TARNOWSKI, ZAWIERUCHA, 1994). Prosta zależność między stopniem

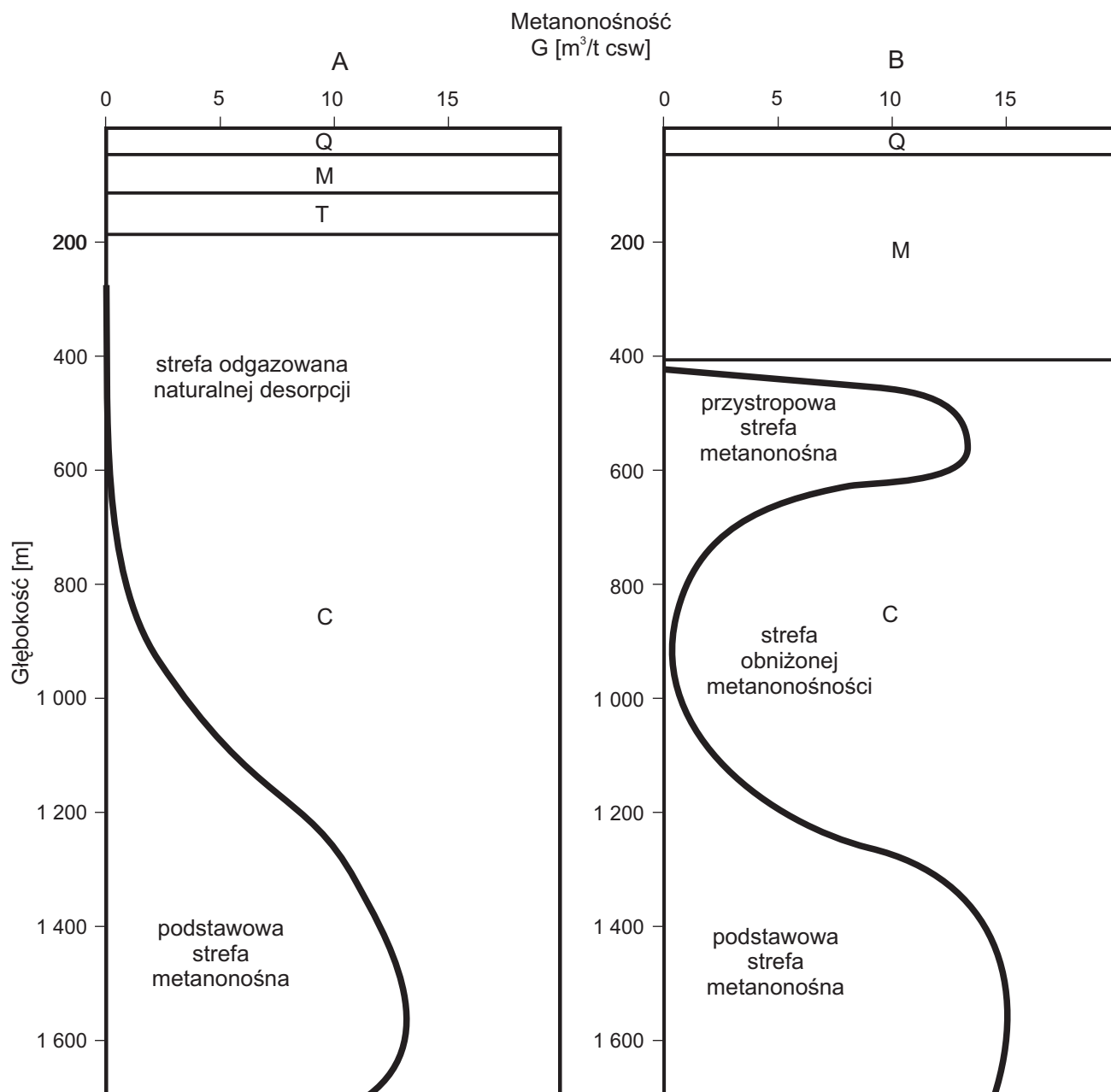
uwęglania pokładów a ich gazonośnością uchwycona w zagłębiach węglowych Ukrainy (DMITREW *et al.*, 1982) i Stanów Zjednoczonych Ameryki (np. KIM, 1977) oraz Lubelskiego Zagłębia Węglowego (HADRO, 2006) nie została stwierdzona ostatecznie w GZW (TARNOWSKI, 1989). Najprawdopodobniej wynika to ze znacznych różnic między pojemnością gazową pokładów węgla dla metanu a faktyczną metanonośnością tych pokładów na danej głębokości (KĘDZIOR, 2009b). Problem pojemności gazowej oraz gazonośności pokładów GZW wiązany był także ze składem macerałowym pokładów węgla (KWARCIŃSKI, NIEMCZYK, 1989; JURCZAK-DRABEK, KWARCIŃSKI, 2003; KĘDZIOR, JELONEK, 2010). Zagadnienia te zostaną omówione szerzej w rozdziale 6.3.

Niektórzy autorzy doszukiwali się związku gazonośności węgla z przejawami magmatyzmu, polegającym na podwyższeniu ilości metanu w obszarach zlokalizowanych w bliskim sąsiedztwie stwierdzanych intruzji magmowych (np.: BOROWSKI, PIŁAT, 1968; CHODYNIECKA, SANKIEWICZ, 1972, 1978; GABZDYL, 1964; KUHLE, 1954) w postaci tzw. aureoli wysokich ciśnień gazu wokół intruzji (np. TARNOWSKI, 1989).

Na podstawie widocznych różnic w rozkładzie gazonośności węgla wraz z głębokością pokładów w północnej i południowej części GZW opisuje się zmiany ilości metanu w poszczególnych złożach za pomocą dwóch modeli (GAWLIK, GRZYBEK, 2002; KOTARBA *et al.*, 1995; KOTAS, 1994; NIEĆ, 1993; TARNOWSKI, 1989; TWARDOWSKI, 1997a) (rys. 2.2):

- modelu północnego, w którym występuje wyraźna dwudzielność gazonośności górotworu — płytkie partie złóż węgla, do głębokości ok. 500—600 m z możliwością wahań, są pozbawione większych koncentracji metanu (strefa odgazowana naturalnej desorpcji), głębiej następuje nagły wzrost metanonośności pokładów aż do osiągnięcia wartości maksymalnych, po czym zaznacza się spadek (podstawowa strefa metanonośna);
- modelu południowego, w którym przystropowe partie węglonośnego karbonu są wtórnie nasycone metanem, zatem występują dwa maksima metanonośności pokładów — pierwsze bezpośrednio pod nakładem miocenijskim (przystropowa strefa metanonośna) i drugie w pewnej odległości poniżej (podstawowa strefa metanonośna), oddzielone strefą obniżonej metanonośności.

Przyczyny różnic w rozkładzie metanonośności pokładów w obrębie poszczególnych modeli tłumaczone są historią rozwoju zagłębia od momentu zakończenia generowania termokatalitycznego metanu w późnym karbonie aż do sedymentacji ilów w miocenie. Okres ten obejmuje długotrwałą erozję



Rys. 2.2. Modele metanonośności GZW (KĘDZIOR, 2009b; KOTAS, 1994; NIEĆ, 1993, zmodyfikowane):

A — model północny, B — model południowy, C — karbon, T — trias, M — miocen, Q — czwartorzęd

utworów węglonośnych i tym samym odgazowanie górnych ich partii (np.: KOSAKOWSKI *et al.*, 1995; KOTARBA *et al.*, 1995a; PROBIERZ, LEWANDOWSKA, 2003). Proces erozyjnego odgazowania został zahamowany wraz z sedimentacją miocennych ilów formacji skawińskiej i od tego momentu w południowej części zagłębia, gdzie obecny jest szczelny nadkład miocennski, doszło do wtórnych akumulacji metanu bezpośrednio pod nadkładem, a zatem pierwotna struktura metanonośna została wtórnie przemodelowana i dziś opisywana jest według modelu południowego (KĘDZIOR, 2000; KOTARBA, 1980; KOTARBA *et al.*, 1995b; KOTAS, 1994; KWARCINŚKI, NIEMCZYK, 1989; PĘKAŁA, 1992a). Sądzi się (KOTARBA, NEY, 1995; PROBIERZ,

LEWANDOWSKA, 2003), że we wszystkich rejonach GZW mamy do czynienia z odpływem autochtonicznych gazów termokatalitycznych i współcześnie gazy autochtoniczne mogą występować na głębokości poniżej 1000 m. Świadczyć o tym może strefowość zmian składu węglowodorów w gazie (wyższe węglowodory występują głębiej niż metan), która nie odpowiada rozkładowi wynikającemu z generacji węglowodorów w procesie uwęglania (PROBIERZ, LEWANDOWSKA, 2003).

Po 2000 r. zaczęto wiązać zagadnienie nasycenia pokładów metanem i ich faktyczną gazonośność w GZW z procesami rozwoju zagłębia, obejmującymi historię termiczną, procesy pograżania i wynoszenia osadów węglonośnych, które wywierają

wpływ na migrację i akumulację metanu (HADRO, 2006; KWARCINSKI, HADRO, 2008; KĘDZIOR, 2009b), tak jak czyni się to w opracowaniach zagranicznych (np. HILDENBRAND *et al.*, 2006; KHAVARI-KHORASANI, MICHELSEN, 1999; rozdział 6.3).

Ukształtowany w sposób naturalny rozkład metanonośności pokładów może zostać dodatkowo skomplikowany w wyniku eksploatacji węgla i podziemnego odmetanowania kopalń. Badania prowadzone w celu oceny rozmiarów tego zjawiska (np.: GAWLIK, GRZYBEK, 2002; GRZYBEK, 2000; LUNARZEWSKI, 1998) wykazały, że rezultatem ingerencji górnictwa podziemnego w naturalne pole naprężeń w górotworze są znacznych rozmiarów odgazowania pokładów i tym samym redukcja ich naturalnej metanonośności. Strefa eksploatacyjnego odgazowania według różnych autorów (np.: AIREY; SHULTZ; CERCHAR, *vide*: LUNARZEWSKI, 1998, GRZYBEK, 2000; LUNARZEWSKI, 1998) obejmować może pokłady węgla występujące 60–100 m poniżej i 120–200 m powyżej eksploatowanego pokładu. W związku z tym pierwotny rozkład metanonośności złóż ulec może dość dużym zmianom prowadzącym do znacznej zmienności przestrzennej metanonośności, nieraz w bliskim sąsiedztwie, często trudnej do wytłumaczenia czynnikami naturalnymi (np. CYRUL *et al.*, 1992; KĘDZIOR, 2005).

Od lat dziewięćdziesiątych minionego wieku podejmowane są liczne działania zmierzające do oszacowania perspektywicznych zasobów wydobywalnych metanu w GZW. Podstawą obliczenia zasobów MPW są między innymi dane metanonośności pokładów oraz zasobów węgla. Zasoby obliczono metodą objętościową. Szacunki zasobów perspektywicznych metanu, dokonywane przez różne instytucje na początku lat dziewięćdziesiątych, różniły się od siebie w zależności od przyjętych wartości brzeżnych i wynosiły:

- 365 mld m³ metanu wg Państwowego Instytutu Geologicznego (KOTAS *et al.*, 1992);
- nie mniej niż 300–320 mld m³ metanu wg Katowickiego Przedsiębiorstwa Geologicznego (PEKAŁA, 1992b);
- 442 mld m³ metanu wg Głównego Instytutu Górnictwa (KAZIUK *et al.*, 1994).

Wartości te są zbliżone, ale różnią się znacznie od wyliczeń amerykańskich US EPA z 1991 r., mówiących o 1 300 mld m³ metanu (Report of US EPA, 1991). Jednak w tym przypadku ilość tę oszacowano na podstawie zasobów i wydobywania węgla kamiennego oraz wielkości emisji metanu.

Corocznie w *Bilansie zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce* publikowane są dane dotyczące udokumentowanych zasobów metanu z poszczególnych złóż GZW. Zasoby te od kilku lat utrzymują się na poziomie 80–100 mld m³

(GABZDYL, HANAK, 2005; MALON, TYMIŃSKI, 2011; zob. rozdział 1.1). Z uwagi na to, że dane te opierają się na różnych kryteriach bilansowości w zależności od tego, czy metan w poszczególnych złożach dokumentowany był jako kopalina główna lub towarzysząca, zdecydowano się zweryfikować bazę zasobową metanu w GZW w obszarze niecki głównej, czyli najbardziej perspektywicznym co do eksploatacji MPW (KWARCINSKI, 2006). Po dokonaniu weryfikacji bilansowe zasoby wydobywalne dla wydzielonego obszaru niecki głównej do rzędnej głębokościowej –1 250 m npm wyniosły 124,54 mld m³ metanu (KWARCINSKI, 2006) i ta wartość, z uwagi na ujednolicenie kryteriów bilansowości metanu (kopalina główna) oraz wykorzystywanie wyników metanonośności pokładów uzyskanych wyłącznie metodą USBM lub przeliczonych według jej wymogów, może uchodzić za najbardziej wiarygodną.

2.2. Przystopowa strefa metanonośna

Mianem przystopowej strefy metanonośnej określa się wtórne akumulacje metanu, umiejscowionego w pokładach węgla i skałach płonnych w najbardziej wierzchnich partiach węglonośnego karbonu, tuż przy granicy z utworami mioceniowymi. Biorąc pod uwagę pionowy rozkład metanonośności pokładów, opisywany według modelu południowego, strefa ta może uchodzić za tożsamą z pierwszym (podnadkładowym) maksimum metanonośnym (rozdział 2.1). Omawiana strefa rozpościera się w południowej i południowo-zachodniej części GZW, między uskokami jawiszowickim na północy a nasunięciem karpackim na południu (KWARCINSKI, NIEMCZYK, 1989; PEKAŁA, 1992a). Za zachodnią granicę strefy można uznać nasunięcie michałkowickie (KĘDZIOR, 2002, 2009b; rys. 1.1). W kierunku wschodnim strefa zanika w miarę pojawiania się miąższego pakietu piaskowców łazickich w stropie utworów karbonu w obszarze Kobióru-Pszczyny, Ćwiklic i Dankowic (KĘDZIOR, 2011; KWARCINSKI, HADRO, 2008). Miąższość przystopowych akumulacji metanu jest zróżnicowana i wynosi od ok. 200–300 m na północy do ok. 50 m w części południowej, co może w pewnym stopniu wynikać z ukształtowania powierzchni stropowej karbonu (por. GAWLIK, GRZYBEK, 2002). Strefa ta może uchodzić za pewnego rodzaju ewenement w rozkładzie metanonośności zagłębi węglowych, gdyż nie została stwierdzona w wielu innych zagłębiach na świecie, znanych jako silnie gazonośne (HADRO, 2006).

Pierwsze opracowania na temat przystropowych akumulacji metanu w górnym karbonie GZW dotyczyły przede wszystkim metanu wolnego w piaskowcach w obszarach lokalnych wypiętrzeń erozyjnych stropu węglonośnych utworów karbońskich. Bardzo szczegółowo opisane zostało nagromadzenie metanu o charakterze przemysłowym w piaskowcach rudzkich, siódłowych oraz porębskich w rejonie Markłowic (KARNKOWSKI, 1993; OBUCHOWICZ, 1963; STOLARZEWICZ, 1958; rozdział 4.4.1.1). Nagromadzenia metanu wolnego znane są też z rejonu Mszany-Jastrzębia (eksploatowane), Brzeszcz, Bzia-Dębiny, Zebrzydowic oraz Kaczyc (KWACIŃSKI, NIEMCZYK, 1989), również jako stwarzające zagrożenia erupcyjne podczas wierceń poszukiwawczych węgla. Autorzy sugerują (KWACIŃSKI, NIEMCZYK, 1989), że obecność nieprzepuszczalnego nadkładu jest konieczna dla istnienia poziomów gazu wolnego, nie warunkuje natomiast obecności metanonośnych pokładów węgla, o czym może świadczyć brak takich pokładów bezpośrednio pod szczelnym nadkładem mioceńskim w rejonach GZW zlokalizowanych na północ od uskoku jawiszowickiego. Geolodzy czescy dopuszczają możliwość występowania wyłącznie metanu wolnego zarówno w pokładach węgla, jak i w piaskowcach w obrębie przystropowych partii karbonu (np. HEMZA *et al.*, 2009). W pracach polskich autorów obecność metanu sorbowanego w przystropowych pokładach węgla wiązana jest z ogólnym polem metanonośności pokładów, obejmującym zarówno podstawową, jak i przystropową strefę metanonośną (np.: GAWLIK, GRZYBEK, 2002; KOTARBA *et al.*, 1995a; KOTAS, 1994; PEKAŁA, 1992a). Z czasem zaczęto wyodrębnić przystropową strefę metanonośną jako element samodzielny i godny uwagi z punktu widzenia otworowej eksploatacji MPW (np.: HADRO, 2006; HADRO *et al.*, 2004; KĘDZIOR, 2006, 2008b, 2009c, d, 2011) oraz zjawisk gazogeo-dynamicznych w kopalniach węgla (np. GNUTEK, JURA, 2006; PLUTA *et al.*, 2006b). Oszacowane wstępnie zasoby metanu zakumulowanego w przystropowej strefie wyniosły 5,18 mld m³ (HADRO *et al.*, 2004).

Problemem szczególnie dyskutowanym jest geneza gazu w przystropowych partiach karbonu GZW. Poglądy na ten temat można ogólnie podzielić na trzy grupy.

Pierwsza grupa obejmuje stwierdzenia na temat wpływu minionej działalności wulkanicznej na generowanie metanu w głębiej występujących pokładach, a następnie jego migracji do stref płytszych za pośrednictwem krzyżujących się stref tektonicznych i ostatecznej akumulacji w morfologicznych formach stropu utworów karbonu pod szczelnym nadkładem mioceńskim (np.: BOROWSKI, 1965,

1968; BOROWSKI, PIŁAT, 1968; TARNOWSKI, 1971, 1973, 1989). Przemawiać za tym mają zjawiska zwiększonej akumulacji metanu wolnego lub sorbowanego w obszarach zaangażowanych tektonicznie, w których stwierdzano objawy działalności wulkanicznej w postaci obecności skał wylewnych, podwyższonego stopnia uwęglenia lub wypaleń pokładów węgla.

Poglądy zaliczane do drugiej grupy zakładają termokatalityczną genezę metanu wskutek procesu uwęglania głębiej położonych pokładów węgla (np.: KANDARACHEVOVÁ *et al.*, 2009; KOTARBA, 1980, 2001; KOTARBA *et al.*, 2004) lub z rozproszonej materii organicznej zdeponowanej w podłożu karbonu (POBORSKI, 1960). O termokatalitycznym pochodzeniu gazów z głębiej zalegających pokładów świadczą badania izotopowe węgla w metanie (zob. rozdział 2.1) oraz korelacja między akumulacjami metanu w stropie utworów karbonu a występowaniem wysoko uwęglonych węgli na większych głębokościach.

Autorzy reprezentujący trzecią grupę poglądów opowiadają się za mikrobialnym pochodzeniem metanu w przystropowej strefie, który został wytworzony w wyniku działalności bakterii metanowych doprowadzonych do odsłoniętego i erodowanego górotworu karbońskiego wraz z wodami opadowymi w paleogenie oraz miocenie — wczesnym badanie (HADRO, 2006; KOTARBA, PLUTA, 2009; PLUTA, 2006; PLUTA *et al.*, 2010). Do takich wniosków upoważniły wyniki badań izotopowych wód i gazów w rejonach KWK „Morcinek” i „Pniówek” oraz analiza paleogeograficzna środowiska górno-mioceńskiego na obszarze dzisiejszego GZW. Podobne poglądy na temat genezy metanu wypowiedziane są także przez autorów prowadzących badania geochemiczne gazów w zagłębiach węglowych oraz złożach gazu konwencjonalnego na świecie (np.: ARAVENA *et al.*, 2003; BARKER, 1987; FLORES, 2008; JAMES, BURNS, 1984; SCOTT *et al.*, 1994).

Analiza pola metanonośności w obrębie przystropowych pokładów węgla na tle ukształtowania stropu utworów karbonu oraz tektoniki uskokuwej pozwoliły wnioskować o poligenetycznym charakterze gazu — mikrobialnym zmieszonym z dopływającym uskokiemi metanem termogenicznym (KĘDZIOR, 2009d, 2011; KOTARBA *et al.*, 2004). Precyzyjniejsze informacje na ten temat zamieszczono w rozdziałach 4 i 5.

Od 2004 r. przystropowe pokłady węgla rejonu Pawłowic-Warszowic zawierające metan sorbowany są w kręgu szczególnego zainteresowania pozyskaniem gazu z powodu płytkiego zalegania i bardzo obiecujących parametrów zbiornikowych węgla. W ramach koncesji na poszukiwanie i rozpoznanie metanu udzielonej firmie EurEnergy Resources

prorowadzone są prace zmierzające do precyzyjnego określenia położenia oraz miąższości strefy, a także właściwości zbiornikowych pokładów węgla. Rezultaty tych badań zestawiono w nieopublikowanych opracowaniach (HADRO *et al.*, 2004; JURECZKA *et al.*, 2008) oraz częściowo w pracy J. KWARCINŚKIEGO i J. HADRY (2008).

2.3. Pokłady węgla jako zbiornik metanu

Pokłady węgla w kontekście właściwości zbiornikowych mediów opisywane były jako zbiornik szczególny, różniący się znacznie od zbiorników konwencjonalnych. Budowa wewnętrzna substancji węglowej opisywana jest według modelu J.E. WARRENA i P.J. ROOTE'A (1963), zakładającego obecność tzw. matrycy węglowej z obecnym, rozbudowanym systemem por odpowiedzialnych za procesy sorpcyjne, oraz szczelin, w których dochodzi do transferu mediów. Badania parametrów zbiornikowych substancji węglowej skupiały się na wielu zagadnieniach, z których najistotniejszymi były: powierzchnia właściwa węgla (np. KREVELEN, SCHUYER, 1969), systemy porowatości (np. ETTINGER, 1969) oraz przepuszczalność (np.: BUSTIN, 1997; CLOSE, MAVOR, 1991; HARPALANI, SCHRAUFNAGEL, 1990; LAUBACH *et al.*, 1998; SKAWIŃSKI, 1993). Wyniki i wnioski z tych badań sugerują wyraźnie, że substancja węglowa charakteryzuje się skomplikowanym systemem porowatości, decydującym o możliwości adsorpcji gazów, znacznej powierzchni właściwej oraz niskiej przepuszczalności.

Jednym z istotniejszych parametrów zbiornikowych węgla są jego zdolności sorpcyjne, w przypadku gazów ściśle powiązane z systemem porowatości. Adsorpcja, czyli pochłanianie gazów przez węgiel, zachodząca głównie w obszarze mikroporów może się odbywać zarówno wskutek procesów fizycznych (adsorpcja fizyczna), jak i chemicznych

(chemisorpcja) (np. BARROW, 1978). Procesy te są niezwykle istotne, ponieważ w warunkach odpowiedniego ciśnienia i temperatury decydują o potencjalnej ilości gazu w pokładzie (gazopojemności lub metanopojemności; np. HOŁDA *et al.*, 1995).

Procesem odwrotnym jest desorpcja, czyli oddawanie gazu przez substancję węglową. Ma ona kluczowe znaczenie w przypadku wydzielania się gazu do wyrobisk kopalnianych oraz w trakcie eksploatacji metanu z pokładów węgla sposobem otworowym. Badania desorpcji metanu z węgla w GZW (CEGLARSKA-STEFAŃSKA, CZAPLIŃSKI, 1990; CEGLARSKA-STEFAŃSKA, BRZÓZKA, 1994) potwierdziły znany wcześniej fakt, że matryca węglowa jest ciałem niesztynnym i ulega deformacji w trakcie sorbowania i desorbowania cząsteczek metanu. Zdaniem autorów (CEGLARSKA-STEFAŃSKA, BRZÓZKA, 1994), w procesie desorpcji dyfuzja gazu zachodzi wolno, ponieważ cząsteczka gazu opuszczająca niesztynną strukturę traci część energii na rozerwanie wiązań z matrycą węglową. Podczas procesu adsorpcji gazu przez substancję węglową liczba miejsc, w których może ulokować się cząsteczka metanu, nie maleje ze wzrostem stężenia metanu (CEGLARSKA-STEFAŃSKA, BRZÓZKA, 1994).

Podane fakty potwierdzają odmiennność węgla jako zbiornika mediów w stosunku do innych zbiorników konwencjonalnych i w związku z tym sam proces pozyskiwania metanu z węgla musi przebiegać odmiennie niż w przypadku klasycznego złoża gazu ziemnego (np.: GRZYBEK, 1992; HERMAN, SIEMEK, 1994; HERMAN *et al.*, 2009; KWARCINŚKI, HADRO, 2008; LOGAN, SCHWOEBEL, 1992; SIEMEK *et al.*, 1990; SMITH, 1992; TJOONK, VAN GIJTENBEEK, 1998). Jak wynika z przytoczonych prac, szczególną rolę w procesie odzysku metanu odgrywają procesy stymulujące przyływ metanu do otworu (szczelinowanie hydrauliczne) oraz technologia otworów kierunkowych.

Dokładniejsze informacje na temat stanu badań właściwości zbiornikowych węgla oraz procesu wydobywania metanu zamieszczono w rozdziałach 6.3—6.5 i 7.1—7.2.

3. Obszar badań i metodyka

3.1. Obszar badań

Obszar badań, stanowiący niezagospodarowane rejon y złóż węgla kamiennego (pola rezerwowe), znajduje się w południowej części GZW, w obrębie Równiny Pszczyńskiej, i w południowej części Płaskowyżu Rybnickiego oraz Kotliny Ostrawskiej (KONDRACKI, 1994). Obejmuje następujące pola (rys. 3.1):

- Dankowice,
- Ćwiklice,
- Kobiór-Pszczyna (część południowa),
- Pawłowice,
- Warszawice-Pawłowice,
- Bzie-Dębina,
- Gołkowice,
- Zebrzydowice,
- Kaczyce.

Wymienione pola, ze względu na łatwiejszą orientację np. co do lokalizacji otworów wiertniczych czy opisu procesów geologicznych, pogrupowano w większe jednostki, zwane rejonami badawczymi, w taki sposób, by poszczególne rejon y miały pewne cechy wspólne, dotyczące między innymi: budowy geologicznej, gazonośności, lokalizacyjne itp. Są to (rys. 3.1):

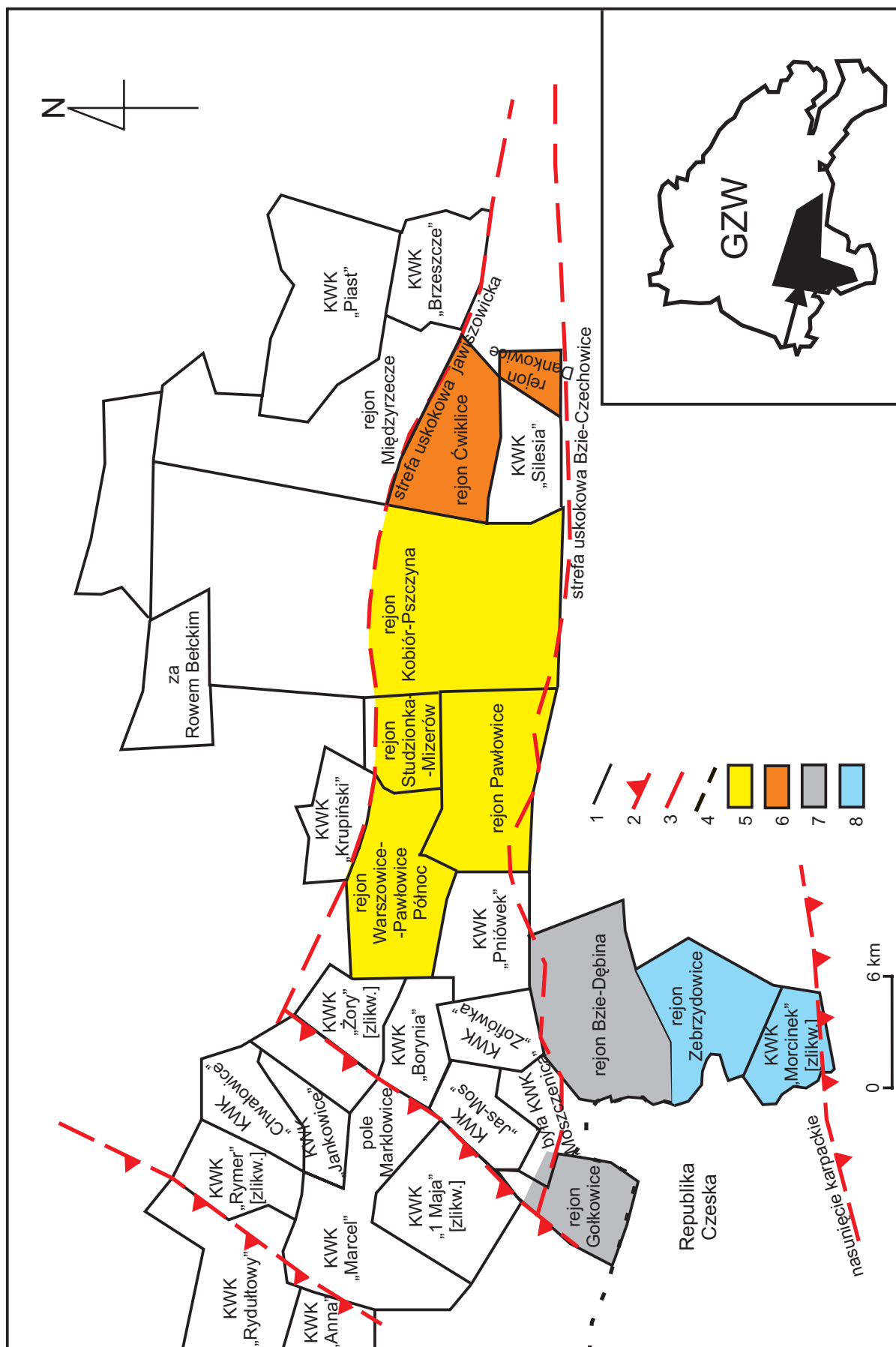
- rejon Ćwiklic-Dankowic — zlokalizowany na wschód od obszaru Przedsiębiorstwa Górniczego „KWK Silesia”, między dyslokacjami jawiszowicką na północy i Bzie-Czechowice na południu, wydzielony ze względu na obecność miąższego pakietu piaskowców łaziskich w stropie utworów karbońskich;
- rejon Warszawic-Pawłowic, obejmujący dodatkowo południową część rejonu Kobiór-Pszczyna i zlokalizowany na zachód od KWK „Silesia”, między dyslokacjami jawiszowicką i Bzie-Czechowice, wydzielony z uwagi na wysoką gazonośność pokładów w stropie utworów karbonu;

- rejon Bzia-Dębiny i Gołkowic, przylegający od południa do dyslokacji Bzie-Czechowice i obejmujący urozmaicony morfologicznie południowy skłon grzbietu Pawłowic oraz wymycia bogumińsko-czechowickie i detmarowickie;
- rejon Zebrzydowic-Kaczyce, najdalej wysunięty na południe, wyróżniający się znacznym urozmaicheniem stropu karbonu i obecnością miąższej formacji dębowieckiej oraz innych grubookruchowych formacji na granicy karbonu i miocenu na znacznej powierzchni.

Wybór wymienionych rejonów spowodowany był ponadto lokalizacją w obszarze występowania przystropowej strefy metanonośnej oraz brakiem eksploatacji węgla kamiennego zarówno obecnie, jak i w przeszłości, dzięki czemu w analizowanych obszarach zachowane zostało naturalne pole gazonośności. Wyjątek stanowi obszar Kaczyce, w którym w latach 1986—1998 wydobywanie węgla prowadziła KWK „Morcinek”, a od 2004 r. spółka Karbonia PL ujmuje otworowo metan z nieczynnych zrobów tej kopalni. Jednak okres działalności górniczej w tym rejonie był stosunkowo niedługi (kilkanaście lat), eksploatacja zaś obejmowała tylko zachodnią część obszaru Kaczyce. Z tego względu zaburzenia pola gazonośności w skali całego obszaru wydają się mniejsze niż w pozostałych obszarach eksploatacji górniczej GZW, trwającej kilkadziesiąt lat.

W bliskiej przyszłości planowane jest zagospodarowanie pola Bzie-Dębina Zachód, w którym Jastrzębska Spółka Węglowa zamierza wszcząć eksploatację węgla. W bliżej nieokreślonym czasie ma zostać rozcięte wyrobiskami eksploatacyjnymi pole Pawłowice KWK „Pniówek”. Zatem zbadanie warunkowań metanowych w przystropowych pokładach węgla może dostarczyć informacji na temat zagrożeń gazowych w przyszłych rejonach wydobywania węgla.

Zaletą wybranych obszarów jest także pokrycie gęstą siatką otworów wiertniczych, w których wy-



Rys. 3.1. Lokalizacja obszaru badań z podziałem na rejon y badawcze:

1 — granice obszarów górniczych kopalni i rejonów niezagospodarowanych, **2** — nasunięcia, **3** — główne uskoki, **4** — granica państwowa, **5** — rejon Warszawio-Pawłowie, **6** — rejon Ówiklic-Dankowie, **7** — rejon Bzia-Dębiny i Gólkowie, **8** — rejon Zebrzydowie-Kaczc

konano badania metanonośności, średnio 1 km na 1 km lub 2 km na 2 km, co spełnia wymagania kategorii B rozpoznania metanu pokładów węgla jako kopaliny głównej (NIEĆ, 2002) oraz mieści się w długości promienia autokorelacji zmienności metanonośności w południowej części GZW, który wynosi ok. 1,7 km (CYRUL, 1993).

Aby pełniej zobrazować zmienność parametrów przystropowej strefy gazonośnej, korzystano także z badań metanonośności wykonanych w otworach zlokalizowanych poza wybranymi obszarami. W szczególności dotyczy to obszaru Czechowice-Dziedzice oraz otworów sporządzonych na zlecenie Państwowego Instytutu Geologicznego (PIG; tzw. głębokich poziomów GZW) i znajdujących się na południe od dyslokacji Bzie-Czechowice.

Ponadto omówiono karbońskie i miocenijskie złoża gazu konwencjonalnego, które pozostają w ścisłym związku z akumulacjami metanu w przystropowych partiach utworów karbonu i w miocenie oraz stanowią przemysłowe akumulacje metanu wolnego w południowej części GZW.

3.2. Uwarunkowania geologiczno-metanowe

3.2.1. Stratygrafia i tektonika

Pod względem geologicznym badane rejony leżą w obrębie południowego skrzydła niecki głównej GZW (rys. 1.1 i 3.1) i do głębokości udokumentowania zbudowane są z utworów przynależnych do węglonośnego karbonu, miocenu oraz czwartorzędu.

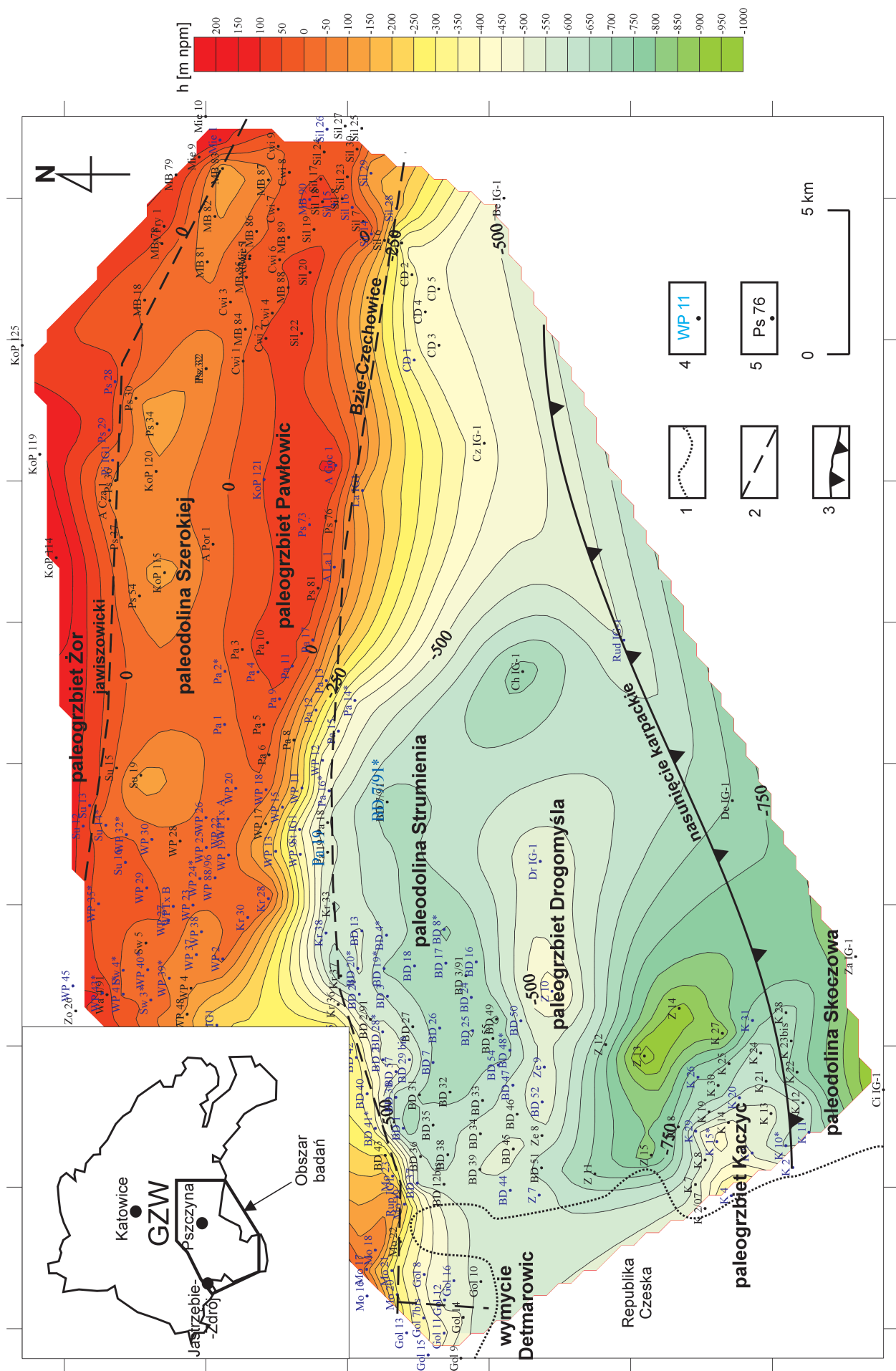
W karbonie wyróżnia się kilka serii litostratigraficznych, których opis ujęto w tabeli 3.1.

W badanym obszarze dominuje seria mułowcowa, której miąższość w rejonie Warszowic-Pawłowic przekracza 1 300 m (MANDRELA, PEKAŁA, 2002). W zachodniej części obszaru badań (obszary Bzie-Dębina oraz Gołkowice) zwiększa się udział górnośląskiej serii piaskowcowej, a maleje serii mułowcowej, aż do zaniku tej ostatniej. Na wschodzie, w rejonach Kobiór-Pszczyna, Ćwiklice

Tabela 3.1. Serie litostratigraficzne karbonu węglonośnego GZW w badanym obszarze (STOPA, zmodyfikowane, *vide*: KĘDZIOR, 2008a, zmienione)

Nazwa serii	Stratygrafia i numeracja pokładów		Opis litologiczny	Węglasobność dla pokładów $\geq 0,6$ m [%]*
Krakowska seria piaskowcowa	warstwy libiąskie (westfal D) — tylko w jednym otworze MB 82, warstwy łaziskie (westfal B i C) (gr. 201—214) — tylko na wschodzie obszaru, w rejonach Kobiór-Pszczyna, Ćwiklice i Dankowice		przewaga gruboziarnistych i porowatych piaskowców nad iłowcami i mułowcami, cienkie i nieregularne pokłady węgla	2,9
Seria mułowcowa	warstwy orzeskie (westfal B) (301—327) warstwy załęskie (westfal A) (328—364 & 401—406)		monotonny kompleks iłowców i mułowców przeważający nad piaskowcami; liczne i nieregularnie zalegające pokłady węgla o zróżnicowanej grubości	5,1
Górnośląska seria piaskowcowa	warstwy rudzkie (namur C) (407—420) warstwy siodłowe (namur B) (501—510)		piaskowce gruboławicowe i zwięzłe przeważające nad iłowcami i mułowcami, najgrubsze pokłady węgla (do 10 m grubości — pokład 510)	7,3
Seria paraliczna	część zachodnia (namur A) porębskie (gr. 600) jakłowieckie (gr. 700) gruszkowskie (gr. 800) pietrzkowickie (gr. 900)	część wschodnia (namur A) grodzieckie (gr. 600 i 700) florowskie (gr. 800) sarnowskie malinowickie górne (gr. 900)	kompleks piaskowcowo-mułowcowo-iłowcowy, obecne poziomy z fauną morską, liczne, niezbyt grube pokłady	1,2

* (KWARCINŚKI, 2006).



Rys. 3.2. Ukształtowanie stropu utworów karbonu w obszarze badań (wg kart otworowych CAG PiG-PIB Warszawa):

1 — granica państwowa, 2 — najważniejsze uskoki, 3 — nasunięcia, 4 — otwory wiertnicze z wykształconą przystropową strefą gazonośną, 5 — otwory wiertnicze bez wykształconej strefy gazonośnej. Gwiazdka oznaczona otwory, w których przystropową strefę gazonośną wyznaczono arbitralnie.

oraz Dankowice, w stropie karbonu zalegają utwory krakowskiej serii piaskowcowej o miąższości zwiększającej się ku wschodowi — od kilkunastu do ok. 1 000 m w rejonie Ćwiklic.

Na utworach karbońskich spoczywa niezgodnie miąższy pakiet ilasty formacji skawińskiej mioce-
nu, występujący w postaci molasy zapadliska przedkarpackiego. Miąższość tych utworów jest bardzo zróżnicowana i wynosi od 200 m na północy obszaru do ponad 1 000 m na południe od uskoku Bzie-Czechowice. Miąższość utworów mioceńskich jest uzależniona od ukształtowania stropu węglonośnych utworów karbońskich, który w południowej i południowo-zachodniej części GZW wykazuje znaczne urozmaicenie morfologiczne. Dominującymi utworami w miocenie są ility, jednak w obniżeniach spągu utworów mioceńskich występują porowate i silnie przepuszczalne piaskowce oraz zlepienie formacji dębowieckiej i kłodnickiej (zob. rozdział 5).

Osady czwartorzędowe obecne na całym badanym obszarze są wykształcone w postaci utworów akumulacji lodowcowo-rzecznej, najbardziej miąższych w dolinach rzek.

Cechą wyróżniającą badany obszar jest bardzo silnie urozmaicona morfologicznie powierzchnia stropowa węglonośnych utworów karbońskich (rys. 3.2). W jej obrębie występują obszary wyniesione, czyli paleogrzbiety, oraz obniżenia w postaci wymyć i paleodolin. Elementy te przyjmują kierunek równoleżnikowy i ich przebieg wiązany jest z biegiem głównych uskoków (ALEXANDROWICZ, 1964; BOGACZ *et al.*, 1984; BUŁA *et al.*, 2007; BUŁA, KOTAS, 1994; JURA, 1992, 2001). Główne uskoki, takie jak jawiszowicki czy Bzie-Czechowice, kształtują morfologię powierzchni stropowej utworów karbonu, o czym świadczy zgodność przebiegu skłonów stropu z przebiegiem powierzchni uskokowych oraz wielkość deniwelacji stropu, w przybliżeniu podobna do wielkości zrzutu głównych dyslokacji (zwłaszcza Bzie-Czechowice). Deniwelacje między najwyższymi i najniższymi punktami powierzchni są znaczne i osiągają 500—700 m. Podmioceńska powierzchnia stropowa utworów karbonu występująca między innymi w badanym obszarze, podobnie jak powierzchnie starsze (podpermska, podtraisowa i podjurajska) spoza badanego obszaru, jest powierzchnią erozyjną. W odróżnieniu od powierzchni starszych, nie jest przerywana uskokami i w praktyce może być traktowana jako jedna, ciągła powierzchnia (BUŁA, KOTAS, 1994; JURECZKA *et al.*, 2005). Głównymi elementami morfologicznymi powierzchni karbońskiej badanego obszaru, licząc od północy, są (wg D. JURY, 2001):

- paleogrzbiec Żor, morfologicznie urozmaicony z powodu różnic w odporności budujących go

utworów, w badanym obszarze usytuowany przy uskoku jawiszowickim;

- paleodolina Szerokiej i kotlina Kobielic rozdzielające paleogrzbiety Żor i Pawłowic;
- paleogrzbiec Pawłowic, będący jednym z najistotniejszych elementów morfologicznych w obszarze badań, charakteryzujący się asymetrycznością skłonów; skłon północny jest dosyć połogi, natomiast południowy — bardzo stromy i dodatkowo urozmaicony licznymi paleodolinami wciosowymi, ponadto tworzy on próg morfologiczny o znacznej wysokości względnej (przekraczającej 500 m), będący morfologicznym odwzorowaniem strefy uskokowej Bzie-Czechowice;
- paleodolina Strumienia, biegnąca u podnóża paleogrzbieta Pawłowic, zaznaczająca się bardzo głębokim położeniem stropu utworów karbońskich (na głębokości ponad 500 m w obszarze Bzie-Dębina) i asymetrycznością zboczy; północne zbocze, tożsame z południowym skłonem paleogrzbieta Pawłowic, jest bardzo strome, z kolei zbocze południowe — połogo nachylone; paleodolina ta może być uznana za fragment rozleglejszego wymycia bogumińsko-czechowickiego (wg W. BOGACZA *et al.*, 1984);
- paleogrzbiec Dziedzic, znajdujący się na wschodzie obszaru, rozdzielający paleodolinę Wilamowic na północy od paleodoliny Strumienia na południu;
- paleodolina Pilchowic, traktowana jako najdłuższa forma I rzędu, odwadniająca powierzchnię podmioceńską w śląskiej części rowu przedkarpackiego; w obszarze badań występuje niewielki jej odcinek, zwany wymyciem detmarowickim w południowo-zachodniej części (rejon Gołkowic);
- paleogrzbiec Drogomyśla, stanowiący wyniesioną formę w rejonie Zebrzydowic, zwany też paleogrzbiem Zebrzydowice-Drogomyśl (BOGACZ *et al.*, 1984);
- paleodolina Skoczowa (wg W. BOGACZA *et al.*, 1984, wymycie bludowicko-skoczowskie), będąca dość rozległym obniżeniem, raptownie podnosząca się ku zachodowi i przechodząca w lokalne podniesienie, zwane paleogrzbiem (garbem) Kaczyc;
- paleogrzbiec Cieszyna, występujący na południe od rejonu Kaczyc, pod przykryciem miocenu i nasuniętych jednostek fliszowych Karpat.

Obecność wymienionych form jest rezultatem silnej erozji przedmioceńskiej utworów węglonośnych karbonu oraz różnic w odporności na erozję budujących je skał (BOGACZ *et al.*, 1984; JURA, 1992, 2001; KĘDZIOR, 2011). Nie bez znaczenia są także ruchy tektoniczne orogenezy alpejskiej, zachodzące przed mioceniem, których wynikiem było

fałdowanie łańcucha Karpat oraz formowanie się zapadliska przedkarpackiego (BOGACZ *et al.*, 1984; BUŁA *et al.*, 2007).

Pod względem tektonicznym badany obszar znajduje się w zasięgu blokowej (dysjunktywnej) części GZW, w obrębie południowego skrzydła niecki głównej. Do najistotniejszych elementów tektonicznych obszaru należą dwie równoleżnikowe, regionalne dyslokacje GZW: na północy dyslokacja jawiszowicka, a na południu strefa uskokowa Bzie-Czechowice. Obie charakteryzują się znaczną, kilkudziesięciokilometrową długością oraz kilkusetmetrowym zrzutem na południe. Ponadto często rozdzielają się na kilka płaszczyzn uskokowych. Jak wykazały badania strukturalne (HERBICH, 1981; TEPER, SAGAN, 1995), są to dyslokacje o założeniach waryscyjskich, odmłodzone w alpejskim cyklu tektonicznym. Oprócz wymienionych, występują tu mniejsze uskoki o orientacji SW-NE oraz prostopadłej, które tworzą system bloków tektonicznych różnych rozmiarów. Z uwagi na otworowe rozpoznanie geologiczne terenu precyzyjne ustalenie przebiegu uskoków jest bardzo utrudnione (KĘDZIOR, 2011).

Warstwy węglonośnego karbonu zapadają pod niewielkim kątem (kilku stopni) w kierunku północnym oraz północno-wschodnim. Jedynie w sąsiedztwie głównych uskoków zdarzają się lokalne podgięcia warstw i zwiększenie upadów do ok. 40° (MANDRELA, PEKAŁA, 2002; KĘDZIOR, 2011).

3.2.2. Warunki metanowe

Badany obszar znajduje się w rejonie południowym GZW, w którym przestrzenny rozkład metanonośności serii węglonośnej został ukształtowany między innymi w wyniku zatrzymania metanu w partiach stropowych karbonu, nasycającego uprzednio odgazowane pokłady węgla, a także skały płonne (model południowy gazonośności GZW).

Wynikiem zatrzymania metanu w stropowej partii karbonu pod nieprzepuszczalnym pakietem iłów mioceńskich jest obserwowana obecnie tzw. zamknięta struktura metanonośna (rys. 1.2 i 3.3), której cechami charakterystycznymi są (KĘDZIOR, 2011; KOTARBA *et al.*, 1995b; KOTAS, 1994; MANDRELA, PEKAŁA, 2002; NIEĆ, 1993):

- przystropowa strefa pokładów węgla o wysokiej metanonośności, przekraczającej 4,5 m³/t csw (do 20 m³/t csw), czyli przystropowa strefa metanonośna o zróżnicowanej miąższości (50—250 m),

w której metanonośne są nie tylko pokłady węgla, ale również skały płonne (piaskowce);

- strefa obniżonej metanonośności pokładów rzędu 1—3 m³/t csw;
- podstawowa strefa pokładów o wysokiej metanonośności, przekraczającej 4,5 m³/t csw (do kilkunastu m³/t csw), bardziej miąższa i rozleglejsza, której zasięg głębokościowy nie został w pełni rozpoznany, lokalnie strefa ta zaczyna zanikać na głębokości ok. 1 500 m.

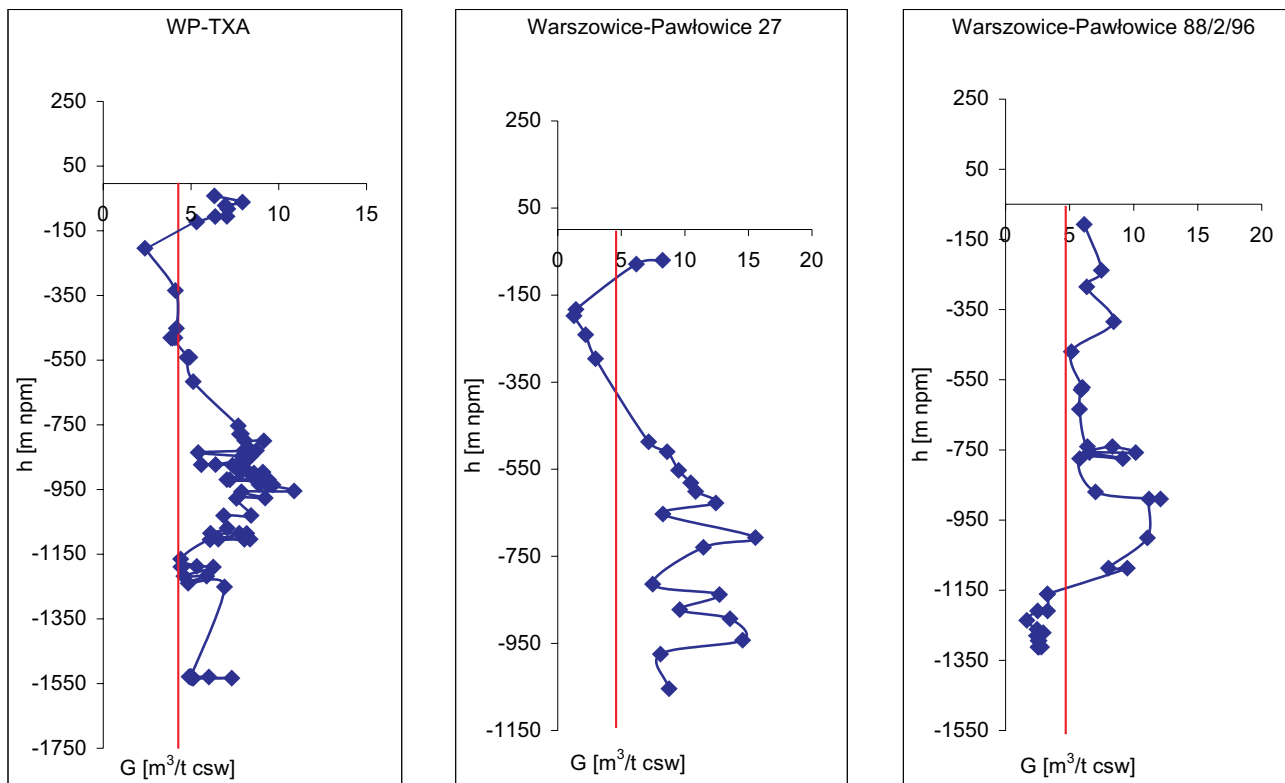
W profilach niektórych otworów notowano miąższość przystropowej strefy metanonośnej znacznie przekraczającą 250 m, tak że łączyła się ze strefą podstawową. W takim przypadku utwory w całym profilu karbonu okazywały się wysokometanonośne.

Obecność metanu obserwowano także w skałach płonnych na granicy karbonu i miocenu (przepuszczalna zwietrzelina karbońska) oraz w miocenie. W obszarze położonym na południe od uskoku Bzie-Czechowice (rejon Bzie-Dębina, Zebrzydowice, Kaczyce), w trakcie prac wiertniczych za węglem, rejestrowano liczne objawy gazu oraz zgazowanych wód w postaci przypływów gazu do otworów (rzędu 20 m³/min), a nawet erupcji (np. POBORSKI, 1960). Do najbardziej gazonośnych horyzontów mioceńskich w tym obszarze należy wspomniana formacja dębowiecka, występująca w spagu miocenu, oraz tzw. piaskowiec „reperowy” o niewielkiej miąższości (kilka metrów), ale stałym załeganiu. W obrębie tych horyzontów metan występuje wspólnie z wodą lub niezależnie od niej.

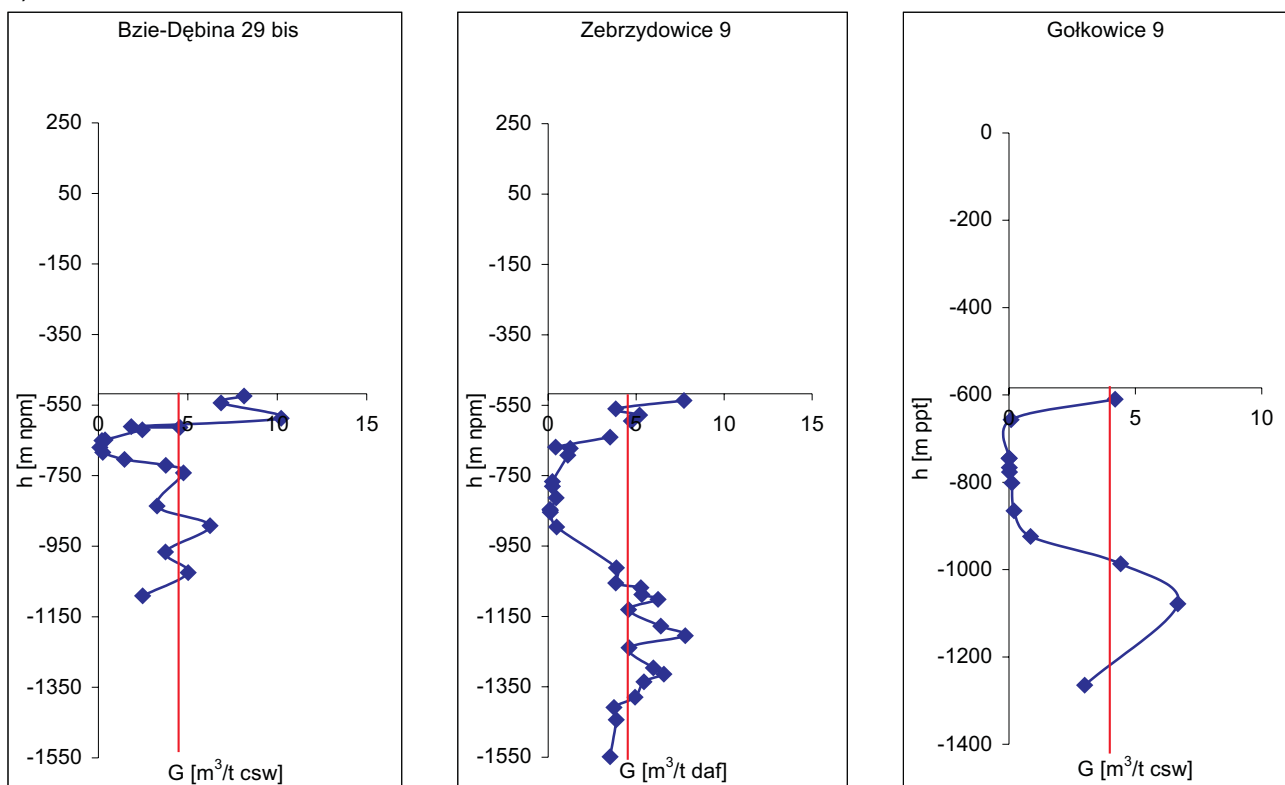
Reasumując, badany obszar odznacza się wysoką i bardzo wysoką metanonośnością złóż węgla, a czynne kopalnie w pobliżu badanego obszaru, jak KWK „Zofiówka”, „Pniówek”, „Krupiński”, „Silesia” oraz „Brzeszcze”, prowadzą wydobywanie w warunkach najwyższej IV kategorii zagrożenia metanowego. W kopalniach tych naturalna metanonośność serii węglonośnej została w znacznym stopniu zaburzona z uwagi na odmetanowanie (ilość odprowadzonego z wentylacją, a także ujętego systemami podziemnego odmetanowania gazu w ciągu roku wynosi ponad 200 mln m³; KRAUSE, SEBASTIAN, 1998—2009). W efekcie eksploatacyjnego odgazowania obserwowany jest odmienny od pierwotnego rozkład metanonośności pokładów, polegający na występowaniu w profilu kilku stref maksymalnych metanonośności (np. ŁUKOMSKI, 2000; rys. 3.4).

Przewaga metanu w składzie cząsteczkowym gazu (70—90%) oraz obecność wyższych węglowodorów (etanu oraz propanu) czyni opisywany gaz pełnowartościowym surowcem energetycznym. W obrębie strefy obniżonej metanonośności ilość metanu w badanym gazie maleje na korzyść azotu (np. KĘDZIOR, 2011).

a)



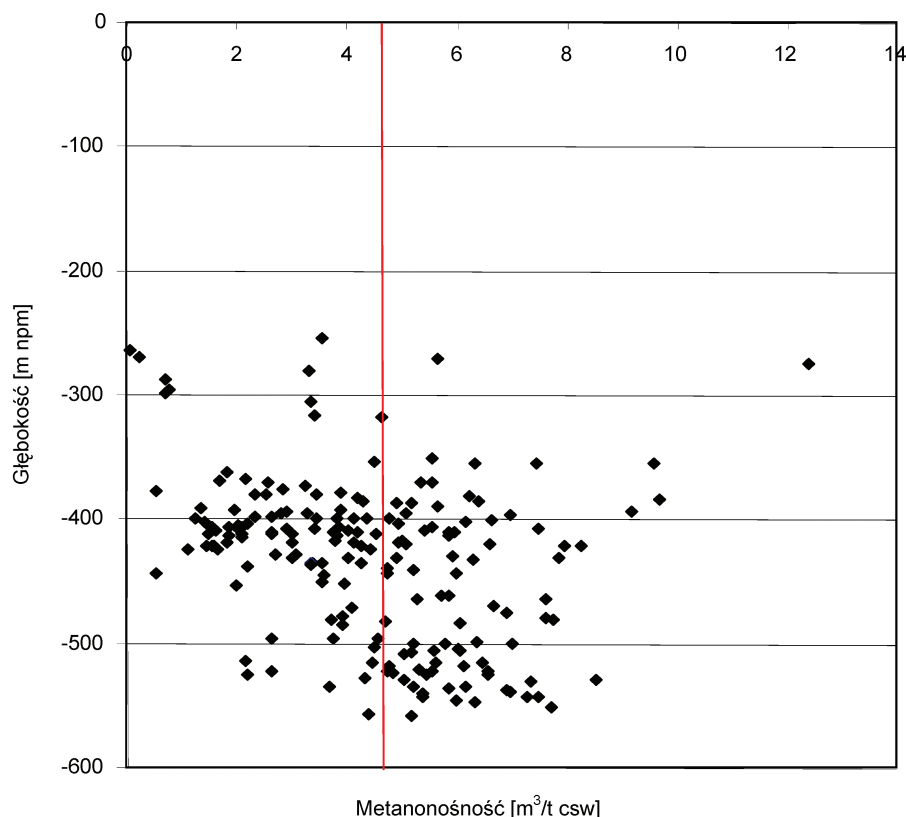
b)



Rys. 3.3. Pionowy rozkład metanoności pokładów w obszarze badań (KOWALSKA, 1987; KRZANOWSKA, 2005; MANDRELA, PEKAŁA, 2002):

a — otwory zlokalizowane po północnej stronie uskoku Bzie-Czechowice, **b** — otwory zlokalizowane po południowej stronie uskoku Bzie-Czechowice

Przecięcie osi X z osią Y na osi Y wyznacza położenie stropu utworów karbonu



Rys. 3.4. Pionowy rozkład metanonośności w pokładach udostępnionych wyrobiskami KWK „Pniówek” (ŁUKOMSKI, 2000)

3.3. Materiał źródłowy

Podstawą opracowania były archiwalne wyniki badań metanonośności pokładów węgla pochodzących z powierzchniowych otworów wiertniczych, wykonywanych w latach 1970–2008 za węglem kamiennym oraz w celu zbadania ilości metanu w górotworze pod kątem możliwości eksploatacji tego surowca jako kopaliny głównej. Zaczepnięto je z zestawień zamieszczonych w dokumentacjach geologicznych złóż węgla, przechowywanych w Centralnym Archiwum Geologicznym PIG w Warszawie oraz w jego Oddziale Górnośląskim w Sosnowcu, a także w siedzibie spółki Karbonia PL w Kaczycach. Parametry zbiornikowe skał płonnych i węgla uzyskano z dostępnych opracowań archiwalnych, a także zlecono ich zbadanie laboratorium Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie.

W znacznie przeważającej liczbie otworów metanonośność pokładów oznaczano metodą degazacji próżniowej pojemników hermetycznych Katowickiego Przedsiębiorstwa Geologicznego (metoda KPG), zaadaptowaną z górnictwa węglowego (metoda bezpośrednia otworowa MBO; BOROWSKI, 1975; MUZYCZUK *et al.*, 1977; NIEMCZYK, 1984). Jedynie w otworach wykonanych na potrzeby ewentualnej eksploatacji metanu jako kopaliny głównej (Amoco, Pol-Tex Methane oraz Texaco) stosowano amerykańską metodę degazacji swobodnej US Bu-

reau of Mines (metoda USBM), polegającą na swobodnym oddawaniu gazu przez rdzeń węglowy przy ciśnieniu atmosferycznym (DIAMOND *et al.*, 1980). Z obu tych metod korzystniejsza jest metoda USBM, przede wszystkim z uwagi na opróbowanie całego pokładu węgla oraz precyzyjniejsze oszacowanie ilości gazu ulotnionego wskutek procedury pobierania rdzeni węglowych do badań. W metodzie KPG do 0,1-metrowych pojemników pobierany jest jedynie fragment pokładu, a ilość gazu ulotnionego szacuje się za pomocą współczynnika korygującego równego 1,33, co może prowadzić do błędów pomiarowych (np. KWARCIŃSKI, 2006; NIEMCZYK, DANIEL, 1986). Zaletą metody KPG jest natomiast krótki czas pomiaru metanonośności (do 2 dni), w porównaniu z kilkutygodniowym okresem w przypadku metody USBM. Porównanie wyników metanonośności uzyskanych obiema metodami stało się przedmiotem wielu opracowań (np.: BYWALEC-DWOROK, 1996; HADRO, 2006; HAMPTON, SCHWOCHOW, 1994; JURECZKA *et al.*, 2008; KWARCIŃSKI, 2006; TWARDOWSKI, 1997a). Wynika z nich, że metoda KPG obarczona jest błędem głównie z powodu mało precyzyjnego oszacowania gazu ulotnionego, jednakże w wielu otworach obie metody dawały podobne wyniki. Zdarzały się jednak różnice rezultatów sięgające nawet 40% w jedną lub drugą stronę, stąd też posługiwanie się wartościami średnimi metanonośności w analizowanych interwałach

(w przypadku niniejszej pracy w interwale przystropowej strefy metanonośnej) powinno obniżyć błąd pomiaru do ok. 10% (np. JURECZKA *et al.*, 2008).

Z tego też względu w niniejszej pracy zdecydowano się na operowanie wartościami średnimi metanonośności pokładów w obrębie omawianej strefy, pozostając przy metodzie KPG (jako częściej stosowanej) i korzystając również z wyników uzyskanych metodą USBM w otworach Amoco oraz Texaco.

3.4. Wyznaczenie przystropowej strefy gazonośnej oraz parametrów zbiornikowych skał

Badając gazonośność, korzystano z danych z 258 otworów, co dało w sumie 4 021 oznaczeń metanonośności pokładów (tabela 3.2). Wzięto również pod uwagę informacje z otworów, w których nie wykonywano badań metanonośności, dotyczące rzędnej stropu utworów karbońskich, budowy geologicznej obszaru oraz objawów metanu wolnego w skałach płonnych. Dla każdego z 258 otworów sporządzono wykres zmienności metanonośności pokładów wraz z głębokością, w celu dokonania selekcji, polegającej na wyborze jedynie tych otworów, w dokumentacji których znajduje się pełna informacja o występującej przystropowej strefie metanonośnej. Selekcji dokonano, stosując następujące kryteria (rys. 3.5; KĘDZIOR, 2006, 2008b, 2009c, d, 2011):

- metanonośność brzeżna stanowiąca spąg strefy równa $4,5 \text{ m}^3/\text{t}$ csw;
- strop strefy stanowi strop węglonośnych utworów karbońskich, poza nielicznymi przypadkami, w których obecność krakowskiej serii piaskowcowej przyczyniła się do obniżenia strefy; w takich przypadkach strop strefy wyznacza również metanonośność brzeżna $4,5 \text{ m}^3/\text{t}$ csw;
- metanonośność średnia w konturze strefy większa od $2,5 \text{ m}^3/\text{t}$ csw, jednak w przypadku obszaru o planowanej eksploatacji węgla ustala się metanonośność średnią większą od resztkowej;
- minimalna miąższość pokładu węgla 0,6 m; w przypadku obszaru o planowanej eksploatacji węgla może być obniżona do 0,1 m;
- maksymalna głębokość położenia spągu strefy (jedynie w przypadku połączenia z metanonośną strefą podstawową) 800 m lub 300 m od stropu utworów karbonu.

Tabela 3.2. Zestawienie otworów wiertniczych, w których wykonano badania metanonośności pokładów

Lp.	Nazwa otworu	Symbol	Liczba oznaczeń metanonośności pokładów węgla
1	2	3	4
1.	Amoco Czarków 1	A Cza 1	11
2.	Amoco Frydek 1**	A Fry 1	11
3.	Amoco Goczałkowice 1**	A Goc 1	45
4.	Amoco Łąka 1**	A La 1	12
5.	Amoco Miedźna 1**	A Mie 1	17
6.	Amoco Poręba 1**	A Por 1	27
7.	Bestwina IG-1	Be IG-1	21
8.	Bzie-Dębina 1	BD 1	7
9.	Bzie-Dębina 2	BD 2	8
10.	Bzie-Dębina 2/91*	BD 2/91	2
11.	Bzie-Dębina 3	BD 3	7
12.	Bzie-Dębina 3/91*	BD 3/91	4
13.	Bzie-Dębina 4	BD 4	7
14.	Bzie-Dębina 7	BD 7	23
15.	Bzie-Dębina 7/91*	BD 7/91	74
16.	Bzie-Dębina 8	BD 8	18
17.	Bzie-Dębina 12 bis	BD 12 bis	6
18.	Bzie-Dębina 13	BD 13	12
19.	Bzie-Dębina 16	BD 16	11
20.	Bzie-Dębina 17	BD 17	13
21.	Bzie-Dębina 18	BD 18	7
22.	Bzie-Dębina 19	BD 19	5
23.	Bzie-Dębina 20	BD 20	15
24.	Bzie-Dębina 21	BD 21	11
25.	Bzie-Dębina 24	BD 24	12
26.	Bzie-Dębina 25	BD 25	10
27.	Bzie-Dębina 26	BD 26	17
28.	Bzie-Dębina 27	BD 27	13
29.	Bzie-Dębina 28	BD 28	13
30.	Bzie-Dębina 29 bis	BD 29 bis	18
31.	Bzie-Dębina 30	BD 30	10
32.	Bzie-Dębina 31	BD 31	20
33.	Bzie-Dębina 32	BD 32	6
34.	Bzie-Dębina 33	BD 33	11
35.	Bzie-Dębina 34	BD 34	11
36.	Bzie-Dębina 35	BD 35	17
37.	Bzie-Dębina 36	BD 36	5
38.	Bzie-Dębina 37	BD 37	4
39.	Bzie-Dębina 38	BD 38	10
40.	Bzie-Dębina 39	BD 39	7
41.	Bzie-Dębina 40	BD 40	10
42.	Bzie-Dębina 41	BD 41	5
43.	Bzie-Dębina 42	BD 42	23
44.	Bzie-Dębina 43	BD 43	2
45.	Bzie-Dębina 44	BD 44	15
46.	Bzie-Dębina 45	BD 45	9
47.	Bzie-Dębina 46	BD 46	20
48.	Bzie-Dębina 47	BD 47	12

1	2	3	4
49.	Bzie-Dębina 48	BD 48	3
50.	Bzie-Dębina 49	BD 49	9
51.	Bzie-Dębina 50	BD 50	34
52.	Bzie-Dębina 51	BD 51	25
53.	Bzie-Dębina 52	BD 52	18
54.	Bzie-Dębina 54	BD 54	12
55.	Bzie-Dębina 55	BD 55	15
56.	Bzie-Dębina 57	BD 57	14
57.	Chybie IG-1	Ch IG-1	25
58.	Cieszyn IG-1	Ci IG-1	5
59.	Czechowice-Dziedzice 1	CD 1	12
60.	Czechowice-Dziedzice 2	CD 2	7
61.	Czechowice-Dziedzice 3	CD 3	7
62.	Czechowice-Dziedzice 4	CD 4	13
63.	Czechowice-Dziedzice 5	CD 5	9
64.	Czechowice-Dziedzice 6	CD 6	5
65.	Czechowice IG-1	Cz IG-1	22
66.	Ćwiklice 1	Cwi 1	20
67.	Ćwiklice 2	Cwi 2	28
68.	Ćwiklice 3	Cwi 3	33
69.	Ćwiklice 4	Cwi 4	13
70.	Ćwiklice 5	Cwi 5	24
71.	Ćwiklice 6	Cwi 6	31
72.	Ćwiklice 7	Cwi 7	22
73.	Ćwiklice 8	Cwi 8	25
74.	Ćwiklice 9	Cwi 9	32
75.	Dębowiec IG-1	De IG-1	16
76.	Drogomyśl IG-1	Dr IG-1	47
77.	Gołkowice 7 bis	Go 7 bis	15
78.	Gołkowice 8	Go 8	17
79.	Gołkowice 9	Go 9	12
80.	Gołkowice 10	Go 10	9
81.	Gołkowice 11	Go 11	7
82.	Gołkowice 12	Go 12	13
83.	Gołkowice 13	Go 13	16
84.	Gołkowice 14	Go 14	22
85.	Gołkowice 15	Go 15	4
86.	Gołkowice 16	Go 16	9
87.	Kaczyce 2	K 2	11
88.	Kaczyce 2/07	K 2/07	10
89.	Kaczyce 4	K 4	14
90.	Kaczyce 7	K 7	13
91.	Kaczyce 8	K 8	13
92.	Kaczyce 9	K 9	16
93.	Kaczyce 10	K 10	10
94.	Kaczyce 11	K 11	16
95.	Kaczyce 12	K 12	7
96.	Kaczyce 13	K 13	12
97.	Kaczyce 14	K 14	11
98.	Kaczyce 15	K 15	9
99.	Kaczyce 18	K 18	11
100.	Kaczyce 19	K 19	2
101.	Kaczyce 20	K 20	9
102.	Kaczyce 21	K 21	22

1	2	3	4
103.	Kaczyce 22	K 22	4
104.	Kaczyce 23 bis	K 23 bis	19
105.	Kaczyce 24	K 24	10
106.	Kaczyce 25	K 25	8
107.	Kaczyce 26	K 26	11
108.	Kaczyce 27	K 27	9
109.	Kaczyce 28	K 28	18
110.	Kaczyce 29	K 29	13
111.	Kaczyce 30	K 30	19
112.	Kaczyce 31	K 31	25
113.	Kobiór-Pszczyna 114	KoP 114	8
114.	Kobiór-Pszczyna 115	KoP 115	13
115.	Kobiór-Pszczyna 119	KoP 119	4
116.	Kobiór-Pszczyna 120	KoP 120	9
117.	Kobiór-Pszczyna 121	KoP 121	10
118.	Kobiór-Pszczyna 125	KoP 125	10
119.	Krzyżowice 28	Kr 28	17
120.	Krzyżowice 30	Kr 30	16
121.	Krzyżowice 33	Kr 33	1
122.	Krzyżowice 35	Kr 35	30
123.	Krzyżowice 36	Kr 36	7
124.	Krzyżowice 37	Kr 37	3
125.	Krzyżowice 38	Kr 38	10
126.	Krzyżowice IG-1	Kr IG 1	57
127.	Łąka IG-1	La IG 1	37
128.	Międzyrzecze 1	Mie 1	21
129.	Międzyrzecze 9	Mie 9	19
130.	Międzyrzecze 10	Mie 10	11
131.	Międzyrzecze-Bieruń 18	MB 18	3
132.	Międzyrzecze-Bieruń 78	MB 78	10
133.	Międzyrzecze-Bieruń 79	MB 79	18
134.	Międzyrzecze-Bieruń 81	MB 81	11
135.	Międzyrzecze-Bieruń 82	MB 82	11
136.	Międzyrzecze-Bieruń 83	MB 83	11
137.	Międzyrzecze-Bieruń 84	MB 84	8
138.	Międzyrzecze-Bieruń 85	MB 85	8
139.	Międzyrzecze-Bieruń 86	MB 86	6
140.	Międzyrzecze-Bieruń 87	MB 87	10
141.	Międzyrzecze-Bieruń 88	MB 88	14
142.	Międzyrzecze-Bieruń 89	MB 89	6
143.	Międzyrzecze-Bieruń 90	MB 90	8
144.	Moszczenica 16	Mo 16	15
145.	Moszczenica 17	Mo 17	11
146.	Moszczenica 18	Mo 18	14
147.	Moszczenica 19	Mo 19	10
148.	Moszczenica 20	Mo 20	9
149.	Moszczenica 21	Mo 21	8
150.	Moszczenica 22	Mo 22	7
151.	Moszczenica 23	Mo 23	23
152.	Pawłowice 1	Pa 1	17
153.	Pawłowice 2	Pa 2	10
154.	Pawłowice 3	Pa 3	21
155.	Pawłowice 4	Pa 4	15
156.	Pawłowice 5	Pa 5	11

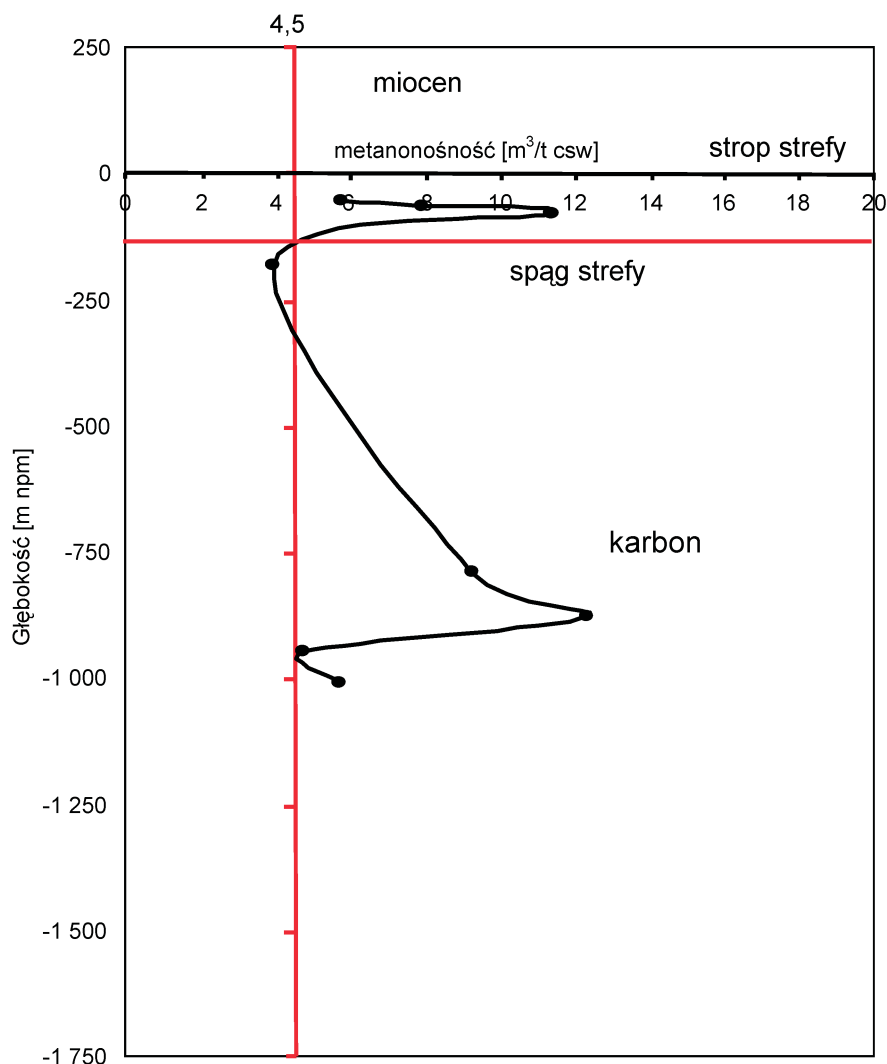
cd. tab. 3.2

1	2	3	4
157.	Pawłowice 6	Pa 6	13
158.	Pawłowice 8	Pa 8	18
159.	Pawłowice 9	Pa 9	17
160.	Pawłowice 10	Pa 10	12
161.	Pawłowice 11	Pa 11	8
162.	Pawłowice 12	Pa 12	26
163.	Pawłowice 13	Pa 13	5
164.	Pawłowice 14	Pa 14	21
165.	Pawłowice 15	Pa 15	8
166.	Pawłowice 16	Pa 16	11
167.	Pawłowice 17	Pa 17	27
168.	Pawłowice 18	Pa 18	1
169.	Pawłowice 19	Pa 19	18
170.	Piasek IG-1	Pia IG 1	34
171.	Pszczyzna 28	Psz 28	9
172.	Pszczyzna 29	Psz 29	3
173.	Pszczyzna 30	Psz 30	2
174.	Pszczyzna 32	Psz 32	10
175.	Pszczyzna 32	Psz 32	10
176.	Pszczyzna 34	Psz 34	10
177.	Pszczyzna 36	Psz 36	5
178.	Pszczyzna 37	Psz 37	3
179.	Pszczyzna 54	Psz 54	2
180.	Pszczyzna 73	Psz 73	15
181.	Pszczyzna 76	Psz 76	16
182.	Pszczyzna 81	Psz 81	18
183.	Rudzica IG-1	Rud IG-1	8
184.	Ruptawa IG-1	Rup IG-1	23
185.	Silesia 6	Sil 6	8
186.	Silesia 7	Sil 7	11
187.	Silesia 8	Sil 8	17
188.	Silesia 14	Sil 14	26
189.	Silesia 15	Sil 15	28
190.	Silesia 16	Sil 16	46
191.	Silesia 17	Sil 17	18
192.	Silesia 18	Sil 18	25
193.	Silesia 19	Sil 19	40
194.	Silesia 20	Sil 20	47
195.	Silesia 22*	Sil 22	68
196.	Silesia 23	Sil 23	27
197.	Silesia 24	Sil 24	41
198.	Silesia 25	Sil 25	25
199.	Silesia 26	Sil 26	35
200.	Silesia 27	Sil 27	36
201.	Silesia 28	Sil 28	11
202.	Silesia 29	Sil 29	23
203.	Silesia 30	Sil 30	21
204.	Studzionka IG-1	St IG 1	34
205.	Suszec 12	Su 12	8
206.	Suszec 13	Su 13	16
207.	Suszec 14	Su 14	4
208.	Suszec 15	Su 15	5
209.	Suszec 16	Su 16	7

1	2	3	4
210.	Suszec 19	Su 19	5
211.	Świerklany 3	Sw 3	6
212.	Świerklany 4	Sw 4	3
213.	Świerklany 5	Sw 5	8
214.	Warszowice 4/91**	Wa 4/91	1
215.	Warszowice-Pawłowice 2	WP 2	18
216.	Warszowice-Pawłowice 4	WP 4	17
217.	Warszowice-Pawłowice 9	WP 9	18
218.	Warszowice-Pawłowice 11	WP 11	25
219.	Warszowice-Pawłowice 12	WP 12	7
220.	Warszowice-Pawłowice 13	WP 13	14
221.	Warszowice-Pawłowice 15	WP 15	19
222.	Warszowice-Pawłowice 17	WP 17	12
223.	Warszowice-Pawłowice 18	WP 18	15
224.	Warszowice-Pawłowice 19	WP 19	9
225.	Warszowice-Pawłowice 20	WP 20	25
226.	Warszowice-Pawłowice 22	WP 22	9
227.	Warszowice-Pawłowice 23	WP 23	14
228.	Warszowice-Pawłowice 24	WP 24	16
229.	Warszowice-Pawłowice 25	WP 25	28
230.	Warszowice-Pawłowice 26	WP 26	22
231.	Warszowice-Pawłowice 27	WP 27	22
232.	Warszowice-Pawłowice 28	WP 28	20
233.	Warszowice-Pawłowice 29	WP 29	19
234.	Warszowice-Pawłowice 30	WP 30	22
235.	Warszowice-Pawłowice 32	WP 320	9
236.	Warszowice-Pawłowice 35	WP 35	6
237.	Warszowice-Pawłowice 37	WP 37	18
238.	Warszowice-Pawłowice 38	WP 38	14
239.	Warszowice-Pawłowice 39	WP 39	19
240.	Warszowice-Pawłowice 40	WP 40	11
241.	Warszowice-Pawłowice 41	WP 41	14
242.	Warszowice-Pawłowice 43	WP 34	9
243.	Warszowice-Pawłowice 45	WP 45	9
244.	Warszowice-Pawłowice 48	WP 48	10
245.	Warszowice-Pawłowice 88/2/96*	WP 88/2/96	33
246.	Warszowice-Pawłowice TXA**	WP TXA	75
247.	Warszowice-Pawłowice TXB**	WP TXB	63
248.	Zamarski IG-1	Za IG-1	13
249.	Zebrzydowice 07	Z 7	16
250.	Zebrzydowice 08	Z 8	14
251.	Zebrzydowice 09	Z 9	31
252.	Zebrzydowice 10	Z 10	27
253.	Zebrzydowice 11	Z 11	10
254.	Zebrzydowice 12	Z 12	22
255.	Zebrzydowice 13	Z 13	1
256.	Zebrzydowice 14	Z 14	16
257.	Zebrzydowice 15	Z 15	11
258.	Żory 26	Zo 26	12
Suma oznaczeń			4 021

* Oznaczenia metanonośności pokładów zarówno metodą KPG, jak i metodą USBM.

** Oznaczenia metanonośności pokładów wyłącznie metodą USBM.



Rys. 3.5. Wyznaczanie stropu i spągu przystropowej strefy metanonośnej zgodnie z przyjętymi kryteriami (KRZANOWSKA, 2002, zmodyfikowane)

Przytoczone kryteria są w większości zgodne z obowiązującymi kryteriami bilansowości metanu jako kopaliny głównej lub towarzyszącej (rozdział 1.1; *Rozporządzenie*, 2001). Kryterium dotyczące maksymalnej głębokości położenia spągu strefy zaproponowano dodatkowo, z uwagi na możliwość otworowej eksploatacji metanu z przystropowej strefy z użyciem płytkich otworów eksploatacyjnych, na wzór amerykański. W zagłębiach Black Warrior oraz Arkoma w USA produkcję metanu z otworów prowadzi się na ogół z głębokości rzędu 700—800 m.

W przypadku obniżenia stropu węglonośnych utworów karbońskich na głębokość poniżej 700—800 m (np. w obszarze Bzie-Dębina) przyjęto kryterium głębokości spągu maksymalnie 300 m od stropu karbonu, z powodu możliwego zagrożenia gazowego ze strony przystropowej strefy metanonośnej w rejonach przyszłej eksploatacji węgla, a tym samym ewentualności ubocznej eksploatacji metanu kopalnianego jako kopaliny towarzyszącej. Wówczas metan może wydzielać się nawet z naj-

mniejszej wkładki węgla, dlatego też w takim przypadku obniżono kryterium miąższości pokładu do 0,1 m (zgodnie z kryterium bilansowości metanu jako kopaliny towarzyszącej; rozdział 1).

Zgodnie z wymienionymi kryteriami, wyselekcjonowano otwory z obecną przystropową strefą metanonośną, a następnie podzielono je na:

- otwory o stwierdzonym, na podstawie pomiarów metanonośności pokładów, występowaniu przystropowej strefy gazonośnej,
- otwory o przypuszczalnym występowaniu przystropowej strefy metanonośnej.

Skomentowania wymaga wyszczególnienie otworów o przypuszczalnym występowaniu omawianej strefy, ponieważ w niektórych otworach nie wykonywano badań metanonośności w pokładach zalegających bezpośrednio pod stropem utworów karbonu, mimo że ich miąższość przekraczała 0,6 m. W takich przypadkach, jeżeli w sąsiednich otworach omawiana strefa występowała, zakładano możliwość jej obecności także w otworach bez badań metanonośności w przystropowych pokładach

i klasyfikowano je do grupy odwiertów o przypuszczalnym występowaniu przystropowej strefy metanonośnej. Wartość przypuszczalnej metanonośności w obrębie strefy wyznaczano na podstawie wartości średniej metanonośności z trzech sąsiednich otworów, w których zbadano metanonośność pokładów.

Zebrane dane umieszczono w komputerowej bazie i na tej podstawie wykreślono mapy izarytm, za pomocą programu Surfer 8, metodą „naturalnego sąsiada”, opartą na sieci wieloboków otaczających obszar, który jest bliższy danemu punktowi pomiarowemu (otworowi wiertniczemu) aniżeli pozostałym. Wierzchołki wieloboków odpowiadają środkom okręgów opisanych na trójkątach wyznaczonych przez trzy najbliższe punkty pomiarowe (www.ems-i.com). Charakterystyczne dla metody „naturalnego sąsiada” jest to, że nie ekstrapoluje ona danych poza granice obszaru ich występowania.

Skonstruowano następujące mapy:

- rzędnej stropu węglonośnych utworów karbońskich,
- metanonośności średniej w obrębie przystropowej strefy metanonośnej,
- miąższości przystropowej strefy metanonośnej.

Konstruując mapy miąższości przystropowej strefy metanonośnej oraz metanonośności średniej, wzięto pod uwagę jedynie otwory o stwierdzonym występowaniu wymienionej strefy; pominięto otwory o przypuszczalnym występowaniu przystropowej strefy metanonośnej.

Celem było uchwycenie rozprzestrzeniania omawianej strefy w kontekście budowy geologicznej badanego obszaru. Dodatkowo wykonano mapy rozprzestrzenienia formacji dębowieckiej, suma-

rycznej miąższości pokładów węgla oraz metanozasobności pokładów.

Z uwagi na perspektywę otworowej eksploatacji metanu z pokładów występujących przy stopie utworów karbonu dokonano próby oceny warunków zalegania oraz parametrów zbiornikowych pokładów węgla. Do najistotniejszych parametrów, warunkujących powodzenie tego rodzaju eksploatacji, oprócz miąższości i regularności występowania pokładów (stałości miąższości, obecności przerosów, rozczepień itp.), należą między innymi przepuszczalność węgla oraz nasycenie metanem. Parametry te, a zwłaszcza przepuszczalność, nie były dotąd powszechnie badane w GZW, dlatego też oprócz wykorzystania danych przepuszczalności pokładów węgla otrzymanych *in situ* w otworach przez firmy Amoco, Texaco oraz Pol-Tex Methane, zlecono badania tego parametru oraz innych parametrów zbiornikowych pokładów laboratorium Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie, na próbkach węgla pobranych z odwiertu Kaczyce 2/07 oraz z wyrobisk wybranych kopalń zlokalizowanych w pobliżu badanego obszaru. Bardziej szczegółowe informacje metodyczne na ten temat znajdują się w rozdziałach 6.4 oraz 6.5, poświęconych rezultatom badań właściwości zbiornikowych pokładów węgla.

Dokonano również analizy stopnia nasycenia pokładów metanem na podstawie izoterm sorpcji Langmuira zaczerpniętych z materiałów archiwalnych firm Texaco i Amoco (rozdział 6.3).

W końcowej części pracy (rozdział 7) podjęto próbę oceny możliwości otworowej eksploatacji metanu z pokładów węgla z zastosowaniem dostępnych technik eksploatacyjnych.

4. Charakterystyka przystropowych akumulacji metanu w karbonie oraz gazu ziemnego w miocenie w świetle wyników badań własnych

4.1. Metanonośność pokładów węgla

Wyniki badań metanonośności pokładów węgla przeprowadzonych w otworach wiertniczych stanowią podstawową informację na temat występowania przystropowej strefy gazonośnej oraz są jednym z kryteriów jej wyznaczenia (rozdział 3.4). Dostarczają informacji zarówno na temat ilości metanu zakumulowanego w strefie, jak i miąższości strefy. Z uwagi na to, że spąg strefy został wyznaczony interpolacyjnie (rys. 3.5), wyniki dotyczące wielkości miąższości mogą służyć jedynie jako szacunek przybliżony (orientacyjny).

Spośród 258 przebadanych otworów wyselekcjonowano 110, które zawierają pełną informację na temat występowania przystropowej strefy metanonośnej (na rys. 4.1 i 4.2 symbole otworów zaznaczone kolorem czerwonym), oraz 24, w których możliwe jest występowanie strefy (otwory o przypuszczalnym występowaniu strefy zostały pominięte w konstrukcji map). Pozostałe otwory, w liczbie 124, odznaczały się brakiem występowania omawianej strefy (symbole otworów na rys. 4.1 i 4.2 oznaczone kolorem czarnym).

Metanonośność średnia w konturze przystropowej strefy gazonośnej waha się w granicach od $2,52 \text{ m}^3/\text{t}$ csw w otworze Międzyrzecze 1 do $13,6 \text{ m}^3/\text{t}$ csw w otworze Bzie-Dębina 13, przeciętnie $6,3 \text{ m}^3/\text{t}$ csw. Największą wartość pojedynczej metanonośności pokładu, wynoszącą $20,2 \text{ m}^3/\text{t}$ csw, oznaczono w otworze Warszawice-Pawłowice 11, zlokalizowanym w polu Pawłowice, w odległości ok. 400 m na północ od strefy uskokowej Bzie-Czechowice, w zasięgu południowego, stromego skłonu paleogeografu Pawłowic (rys. 4.1, tabela 4.1).

Zmienność średniej metanonośności pokładów w konturze przystropowej strefy metanonośnej pokazuje rys. 4.1 oraz zestawienie zawarte w tabeli 4.1. Otwory, w których zanotowano największą wartość średniej metanonośności pokładów $> 8 \text{ m}^3/\text{t}$ csw, zlokalizowane są w rejonach Warszawic-Pawłowic oraz Bzia-Dębiny i Gołkowic. Otwory z najniższą średnią metanonośnością $< 3 \text{ m}^3/\text{t}$ csw znajdują się w rejonach Ćwiklic, Dankowic, Pawłowic, Zebrzydowic oraz Kaczyc.

Największą ciągłość i zwartość omawiana strefa wykazuje w rejonie Warszawic-Pawłowic oraz wschodniej części rejonu Bzia-Dębiny, ponieważ w ogromnej większości otworów sąsiadujących z sobą stwierdzono występowanie przystropowej strefy metanonośnej.

Wschodnie i południowe rejony obszaru badań (Kobiór-Pszczyna, Ćwiklice, Dankowice oraz Zebrzydowice i Kaczycy) cechuje nieco odmienny charakter przystropowej strefy gazonośnej, gdyż strefa ta pojawia się tu fragmentarycznie, w postaci izolowanych płatów, w których metanonośność średnia w obrębie konturu strefy nie jest większa niż $6,8 \text{ m}^3/\text{t}$ csw.

Miąższość przystropowej strefy metanonośnej pokazana została na rys. 4.2 i w tabeli 4.1. Interpolacyjne wyznaczenie spągu strefy sprawia, że wielkość miąższości prezentowanej na mapie (rys. 4.2) i w tabeli 4.1 może nie oddawać jej rzeczywistej wartości. W 41 otworach wielkość miąższości przekroczyła 200 m. Największą wartość miąższości strefy (626 m) zanotowano w otworze Moszczenica 16 w zachodniej części obszaru badań, najniższą zaś (3,4 m) — w otworze Kaczycy 26 w części południowej. Otwory, w których stwierdzono miąższość strefy rzędu 200—400 m, w większości zlokalizowane są po północnej stronie dyslokacji

Tabela 4.1. Parametry przystropowej strefy metanonośnej w badanych rejonach (KĘDZIOR, 2011, zmienione; HADRO *et al.*, 1997, 1998; KRZANOWSKA, 2002, 2005, 2008; MANDRELA, 1992; MANDRELA, PEKAŁA, 2002; PEKAŁA, 1990, 1992c)

Otwór	Wysokość [m npm]		Miąższość nadkładu [m]	Parametry przystropowej strefy metanonośnej		Metanonośność [m ³ /t csw]	
	otworu	stropu karbonu		położenie spagu [m npm]	miąższość [m]	średnia	maksymalna
1	2	3	4	5	6	7	8
Rejon Warszowice-Pawłowice							
Amoco-Łąka 1	272,1	-18,00	290,10	-105,00	87,00	7,705	9,100
Kobiór-Pszczyna 121	245,06	53,26	191,80	-300,00	353,26	4,189	4,642
Krzyżowice 28	272,32	7,72	264,60	-170,22	177,94	7,573	9,576
Krzyżowice 30	271,55	2,05	269,50	-317,95	320,00	7,144	7,432
Krzyżowice IG-1	264,17	-259,63	523,80	-286,33	26,70	6,697	6,697
Łąka IG-1	262,18	-164,02	426,20	-247,00	82,98	4,455	5,196
Pawłowice 1	256,29	-29,41	285,70	-279,41	250,00	4,395	5,708
Pawłowice 2**	262,52	-9,18	271,70	-259,18	250,00	3,318	3,318
Pawłowice 4	257,10	47,00	210,10	-203,00	250,00	3,058	3,058
Pawłowice 9	256,08	50,58	205,50	-449,42	500,00	2,906	2,906
Pawłowice 11	254,99	67,39	187,60	-102,61	170,00	5,679	5,679
Pawłowice 12	257,71	-223,39	481,10	-276,39	53,00	3,922	4,999
Pawłowice 13	261,76	-172,64	434,40	-419,64	247,00	4,611	6,096
Pawłowice 14**	267,36	-446,84	714,20	-502,84	56,00	6,232	6,232
Pawłowice 15	259,08	-423,52	682,60	-479,52	56,00	4,977	6,282
Pawłowice 16**	266,40	-501,60	768,00	-576,60	75,00	10,900	10,900
Pawłowice 17	257,33	25,33	232,00	-174,67	200,00	4,622	7,582
Pawłowice 19	274,09	-513,81	787,90	-600,00	86,19	8,039	8,039
Piaszek IG-1	264,44	-38,96	303,40	-255,00	216,04	4,035	5,207
Pszczyna 28	249,94	77,34	172,60	-113,00	190,34	4,06	4,866
Pszczyna 29	260,28	72,18	188,10	-80,00	152,18	5,581	5,581
Pszczyna 73	266,37	110,77	155,60	-115,00	225,77	3,782	5,348
Studzionka IG-1	270,07	-398,93	669,00	-493,93	95,00	5,977	8,744
Suszec 12	261,64	78,64	183,00	-449,36	528,00	5,869	6,525
Suszec 13	260,82	78,92	181,90	-149,88	228,80	5,869	6,525
Suszec 14**	261,31	-62,69	324,00	-148,88	215,00	6,000	6,000
Suszec 16	258,87	26,87	232,00	-49,13	76,00	4,352	5,156
Świerklany 3**	263,47	12,17	251,30	-239,1	251,30	7,510	7,510
Świerklany 4**	276,94	-8,26	285,20	-293,5	285,20	7,510	7,510
Warszowice 4/91	281,23	75,53	205,70	-361,27	436,80	9,309	9,309
Warszowice-Pawłowice 2	271,04	-29,56	300,60	-449,96	420,40	8,217	10,733
Warszowice-Pawłowice 9	274,12	-372,68	646,80	-449,68	77,00	10,477	10,477
Warszowice-Pawłowice 11	256,44	-223,56	480,00	-439,56	216,00	12,500	20,202
Warszowice-Pawłowice 12	268,56	-425,14	693,70	-575,14	150,00	10,521	13,55
Warszowice-Pawłowice 13*	267,81	-219,03	486,84	połączenie	połączenie	7,869	8,126
Warszowice-Pawłowice 15	262,20	-175,28	437,48	-390,28	215,00	8,894	13,553
Warszowice-Pawłowice 18*	261,33	-14,67	276,00	połączenie	połączenie	9,997	18,673
Warszowice-Pawłowice 19	261,85	-26,15	288,00	-160,15	134,00	8,396	11,472
Warszowice-Pawłowice 20	257,88	-3,32	261,20	-133,32	130,00	4,721	4,721
Warszowice-Pawłowice 22	258,28	-14,72	273,00	-99,72	85,00	8,145	8,351

1	2	3	4	5	6	7	8
Warszowice-Pawłowice 23	257,44	-27,76	285,20	-450,00	422,24	5,296	5,296
Warszowice-Pawłowice 24**	258,86	-51,64	310,50	-172,64	121,00	6,43	6,430
Warszowice-Pawłowice 25	261,60	-22,40	284,00	-147,40	125,00	8,056	12,761
Warszowice-Pawłowice 26	258,75	-39,85	298,60	-115,85	76,00	7,378	9,044
Warszowice-Pawłowice 27	267,82	0,85	266,97	-99,15	100,00	7,215	8,249
Warszowice-Pawłowice 29	262,06	15,56	246,50	-449,44	465,00	7,207	8,797
Warszowice-Pawłowice 30	259,89	-33,11	293,00	-83,11	50,00	8,726	8,726
Warszowice-Pawłowice 32**	258,05	16,05	242,00	-63,95	80,00	6,724	6,724
Warszowice-Pawłowice 35**	255,08	22,28	232,80	-177,72	200,00	6,936	6,936
Warszowice-Pawłowice 37	260,58	-80,42	341,00	-450,42	370,00	9,994	14,023
Warszowice-Pawłowice 38	260,32	-118,18	378,50	-248,18	130,00	7,703	7,703
Warszowice-Pawłowice 39**	263,36	-63,34	326,70	-228,34	165,0	7,927	7,927
Warszowice-Pawłowice 40**	280,10	-39,60	319,70	-139,60	100,0	7,500	7,500
Warszowice-Pawłowice 41**	280,77	-17,03	297,80	-197,03	180,0	7,500	7,500
Warszowice-Pawłowice 43**	280,67	104,17	176,50	-80,83	185,0	7,500	7,500
Warszowice-Pawłowice 45	275,20	102,72	172,48	-244,28	347,00	4,752	5,263
Warszowice-Pawłowice 88/2/96*	259,48	-49,32	308,80	połączenie	połączenie	7,102	8,444
Warszowice-Pawłowice TXA	257,60	-3,90	261,50	-143,90	140,00	6,777	7,930
Warszowice-Pawłowice TXB	266,10	-16,40	282,50	-100,00	83,60	5,780	5,780
Rejon Ćwiklice i Dankowice							
Międzyrzecze 1	246,74	138,24	108,5	-150	288,24	2,531	4,821
Międzyrzecze-Bieruń 90	246,59	62,79	183,8	-260	322,79	3,908	5,432
Silesia 14	245,31	34,91	210,4	-160	194,91	3,534	4,956
Silesia 15	240,09	72,09	168	-250	322,09	3,538	4,712
Silesia 16	239,37	14,98	224,39	-110	124,98	2,743	5,190
Silesia 26	237,62	31,62	206	-300	331,62	3,512	5,118
Silesia 28	246,94	-159,26	406,2	-300	140,74	6,858	11,646
Silesia 29	242,77	-155,73	398,5	-255	99,27	4,574	4,674
Rejon Bzie-Dębina i Gołkowice							
Bzie-Dębina 1	261,51	-705,79	967,30	-750,00	44,21	5,151	5,151
Bzie-Dębina 2	271,71	-535,69	807,40	-620,00	84,31	6,337	7,951
Bzie-Dębina 3	254,24	-600,66	854,90	-690,00	89,34	13,582	13,582
Bzie-Dębina 4**	269,97	-607,83	877,80	-707,83	100,00	6,040	6,040
Bzie-Dębina 7	272,08	-666,82	938,90	-690,00	23,18	6,258	6,258
Bzie-Dębina 8**	260,24	-710,76	971,00	-780,76	70,00	6,059	6,059
Bzie-Dębina 13	263,63	-534,57	798,20	-630,00	95,43	7,844	7,844
Bzie-Dębina 16	248,56	-680,84	929,40	-760,00	79,16	7,404	7,404
Bzie-Dębina 17	262,09	-678,51	940,60	-780,00	101,49	6,052	6,052
Bzie-Dębina 18	260,46	-701,14	961,60	-830,00	128,86	4,721	4,721
Bzie-Dębina 19**	272,11	-659,79	931,90	-729,79	70,00	9,150	9,150
Bzie-Dębina 20**	272,76	-519,74	792,50	-609,74	90,00	8,406	8,406
Bzie-Dębina 21	269,75	-592,05	861,80	-620,00	27,95	9,409	9,409
Bzie-Dębina 24	260,62	-671,78	932,40	-680,00	8,22	3,192	6,063
Bzie-Dębina 25	237,88	-646,22	884,10	-690,00	43,78	9,525	9,525
Bzie-Dębina 26	241,50	-671,30	912,80	-740,00	68,70	5,851	5,851
Bzie-Dębina 28**	261,43	-503,67	765,10	-553,67	50,00	6,387	6,387

1	2	3	4	5	6	7	8
Bzie-Dębina 29 bis	273,34	-517,86	791,20	-610,00	92,14	6,323	10,219
Bzie-Dębina 30	259,32	-638,18	897,50	-670,00	31,82	3,169	5,528
Bzie-Dębina 37	269,54	-601,36	870,90	-690,00	88,64	3,278	5,890
Bzie-Dębina 40	277,89	-348,71	626,60	-520,00	171,29	6,409	8,085
Bzie-Dębina 41**	243,36	-366,24	609,60	-426,24	60,00	4,909	4,909
Bzie-Dębina 42*	262,03	-341,97	604,00	połączenie	połączenie	6,637	6,637
Bzie-Dębina 44	252,63	-560,37	813,00	-590,00	29,63	5,370	5,370
Bzie-Dębina 47*	247,67	-580,73	828,40	połączenie	połączenie	4,419	4,419
Bzie-Dębina 48**	246,88	-673,62	920,50	-823,62	150,00	4,470	4,470
Bzie-Dębina 50	258,95	-569,55	828,50	-630,00	60,45	6,316	7,451
Bzie-Dębina 52	232,64	-498,96	731,60	-570,00	71,04	4,699	4,699
Bzie-Dębina 54*	242,50	-651,20	893,70	połączenie	połączenie	4,573	4,573
Bzie-Dębina 57	271,50	-476,10	747,60	-550,00	73,90	9,623	9,623
Zebrzydowice 9	236,35	-517,55	753,90	-600,00	82,45	5,370	7,717
Krzyżowice 35	280,51	-222,49	503,00	-290,00	67,51	8,257	11,012
Krzyżowice 38	272,18	-584,82	857,00	-650,00	65,18	6,985	6,985
Gołkowice 7 bis	242,63	-389,97	632,60	-800,97	411,0	6,558	8,571
Gołkowice 8	239,75	-455,85	695,60	-675,85	220,00	3,688	5,525
Gołkowice 11	242,03	-433,97	676,00	-599,97	166,00	7,447	7,671
Gołkowice 12	246,06	-540,74	546,39	-555,74	15,0	5,652	6,643
Gołkowice 13	212,78	-334,02	340,62	-549,02	215,0	6,601	9,776
Gołkowice 15	237,32	-398,28	409,71	-698,28	300,0	11,430	11,430
Gołkowice 16	246,40	-497,50	502,57	-680,00	182,5	5,072	6,644
Moszczenica 16***	250,97	77,67	173,30	-548,33	626,0	8,535	18,012
Moszczenica 17***	243,42	-106,28	349,70	-476,56	370,3	6,135	6,135
Moszczenica 18***	220,60	2,66	217,94	-341,30	343,96	5,357	9,342
Moszczenica 19	251,01	-179,99	431,00	-538,39	358,4	8,180	10,741
Moszczenica 20	216,33	-302,77	519,10	-475,57	172,80	6,567	10,519
Moszczenica 21	217,70	-309,30	527,00	-489,20	179,90	6,298	7,120
Moszczenica 23*	258,29	-202,70	460,99	połączenie	połączenie	10,273	13,538
Ruptawa IG-1	254,38	-141,02	395,00	-646,02	505,0	5,065	9,668
Rejon Zebrzydowice i Kaczyce							
Zebrzydowice 7	225,83	-549,67	775,50	-560,00	10,33	5,170	5,170
Zebrzydowice 9	236,35	-517,55	753,90	-570,00	52,45	5,506	7,975
Kaczyce 26	267,90	-686,60	954,50	-690,00	3,40	5,453	5,453
Kaczyce 2***	247,26	-496,64	743,90	-550,00	53,36	6,050	6,050
Kaczyce 4***	238,83	-277,47	516,30	-350,00	72,53	6,180	6,180
Kaczyce 9	269,81	-518,99	788,80	-550,00	31,01	8,754	8,754
Kaczyce 10	277,48	-614,72	892,20	-672,00	57,28	6,041	6,041
Kaczyce 11	284,55	-647,45	932,00	-675,00	27,55	6,034	6,034
Kaczyce 15	278,80	-383,60	662,40	-464,00	80,40	6,755	6,755
Kaczyce 20	277,10	-582,50	859,60	-600,00	17,50	5,122	5,122
Kaczyce 29	270,91	-509,59	780,50	-560,00	50,41	6,089	6,089
Kaczyce 31	256,08	-726,92	983,00	-750,00	23,08	5,598	5,598

* Połączenie ze strefą głęboką.

** Strefa wyznaczona interpretacyjnie (występowanie przypuszczalne).

*** Metanonośność pokładów może być zaburzona z powodu wydobywania węgla i prowadzonego odmetanowania.

Bzie-Czechowice (rejon Warszawice-Pawłowice, Kobiór-Pszczyna oraz Dankowice), mniejszą miąższością strefy (< 200 m) odznaczały się otwory zlokalizowane na ogół po południowej stronie wspomnianej dyslokacji (Bzie-Dębina, Zebrzydowice oraz Kaczyce).

W pewnej liczbie otworów zaobserwowano połączenie stref metanonośnych podstawowej oraz głębokiej (tabela 4.1). W szczególności dotyczy to rejonu Warszawice-Pawłowice oraz Bzia-Dębiny. Otwory, w których stwierdzono połączenia stref, znajdują się w pobliżu uskoku.

Rozmieszczenie i zasięg przystropowych akumulacji metanu w kontekście metanonośności pokładów węgla mogą być rozpatrywane na podstawie budowy geologicznej obszaru badań. Widoczną rolę odgrywają tu następujące elementy:

- litologia skał budujących stropowe partie karbonu i nadkład mioceński,
- tektonika uskoku,
- morfologia stropu węglonośnego karbonu.

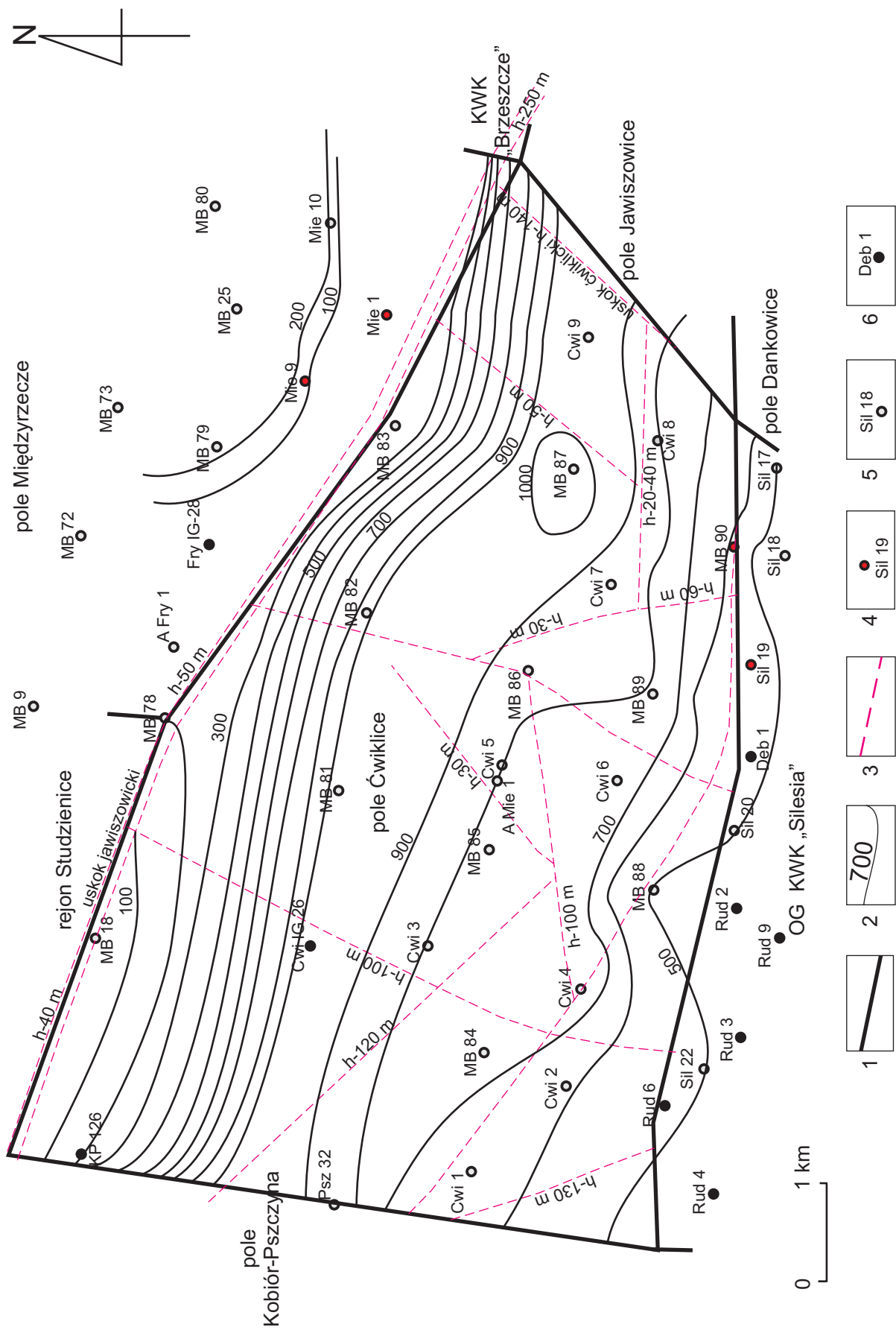
Oddziaływanie litologii utworów stropowych karbonu jest widoczne w postaci różnego charakteru strefy metanonośnej w poszczególnych rejonach badanego obszaru. W rejonie Warszawice-Pawłowice, w którym omawiana strefa wykazuje najbardziej zwarty i ciągły charakter, w stropie karbonu występują ilowce i mułowce serii mułowcowej, a w nadkładzie dominują zwięzłe utwory ilaste mioceńskiej formacji skawińskiej. Wskazywać to może na dobre uszczelnienie pokładów węgla i w konsekwencji wysoką metanonośność pokładów. W rejonie Ćwiklic oraz Dankowice, w którym w stropie utworów karbonu dominują porowate i przepuszczalne piaskowce łaziskie krakowskiej serii piaskowcowej o miąższości od 100 m do ponad 1 000 m, akumulacje metanu w stropowej partii karbonu występują w postaci izolowanych płatów, między którymi metanonośność średnia pokładów w otworach jest znacznie obniżona i nie przekracza $2 \text{ m}^3/\text{t}$ csw (rys. 4.1). W szczególności dotyczy to rynny wypełnionej piaskowcami łaziskimi w rejonie Ćwiklic, których miąższość w osi rynny przekracza 1 000 m. W zasięgu piaskowców łaziskich we wspomnianej rynnie, w prawie wszystkich otworach, nie stwierdzono występowania przystropowych akumulacji metanu przekraczających $2 \text{ m}^3/\text{t}$ csw (rys. 4.3). Prawdopodobną przyczyną takiego stanu są ucieczki metanu z pokładów węgla za pośrednictwem przepuszczalnych piaskowców łaziskich. Piaskowce łaziskie mają porowatość wynoszącą 15% oraz zajmują do 80% profilu krakowskiej serii piaskowcowej (DEMBOWSKI, 1972; GRUDNIK, WĄTOR, 2000).

Po południowej stronie uskoku Bzie-Czechowice (rejon Bzie-Dębina, Gołkowice, Zebrzydowice i Kaczyce) przystropowa strefa metanonośna staje

się cieńsza i bardziej rozczłonkowana, co także może wynikać częściowo z litologii skał stropowych karbonu oraz miocenu. W tych rejonach udział serii mułowcowej w stropie karbonu maleje i jednocześnie zwiększa się miąższość utworów górnośląskiej serii piaskowcowej. W spągu nadkładu mioceńskiego pojawiają się przepuszczalne utwory formacji kłodnickiej, a zwłaszcza dębowieckiej. Jak wynika z rys. 4.4 i 4.5, wraz ze wzrostem miąższości formacji dębowieckiej zaznacza się ogólny spadek metanonośności pokładów węgla w obrębie strefy przystropowej. Prawdopodobnie związane to jest z przemieszczeniem pewnych ilości metanu z pokładów węgla do piaskowców i zlepieńców omawianej formacji, które zalegają ponad stropem węglonośnych utworów karbońskich. Zatem opisane wcześniej warunki litologiczne mogły sprzyjać migracji metanu z pokładów. Zagadnienie to zostanie omówione szerzej w rozdziale 5 niniejszej pracy.

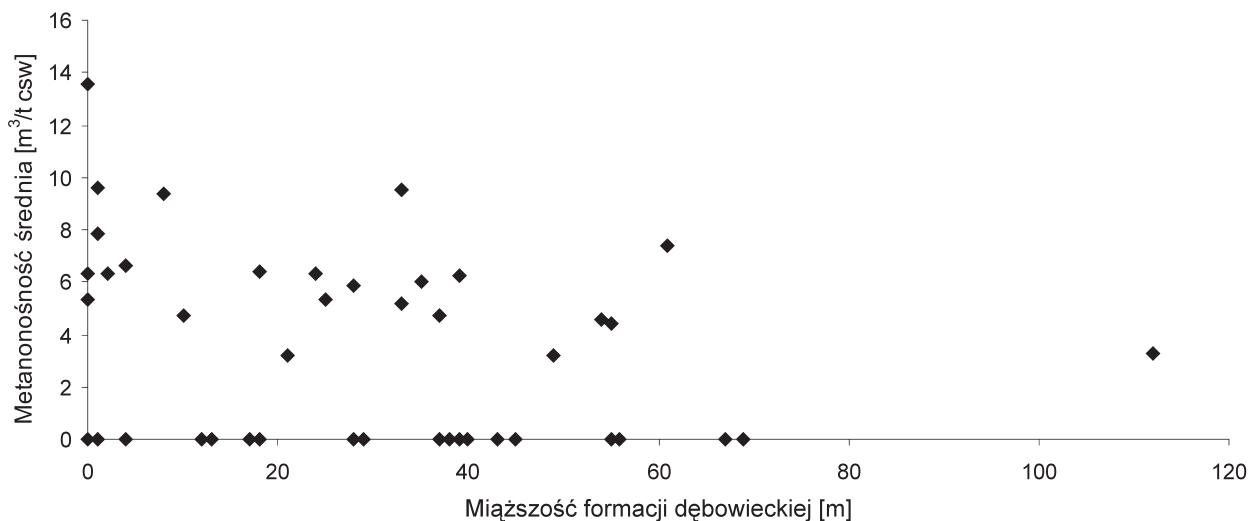
Tektonika uskoku także może wywierać wpływ na ilość i rozmieszczenie metanu w obrębie strefy przystropowej. O prawdopodobieństwie oddziaływania uskoku świadczyć może fakt, że otwory, w których notowano największą metanonośność średnią pokładów w konturze strefy metanonośnej, zlokalizowane są w bezpośrednim sąsiedztwie lub w pobliżu uskoku Bzie-Czechowice (otwory Bzie-Dębina 3, 21, 57, Moszczenica 20, Warszawice-Pawłowice 9, 11, 12). Także występowanie izolowanych płatów przystropowej strefy lub obszarów o wyraźnie podwyższonej metanonośności średniej w konturze strefy nawiązuje do kierunku tektonicznego NW-SE, reprezentowanego przez regionalne dyslokacje Bzie-Czechowice oraz jawiszowicką.

Wpływ morfologii stropu utworów karbońskich na możliwość akumulacji metanu w stropowej partii karbonu nie jest wyraźny, prawdopodobnie z powodu silnego oddziaływania innych czynników, zwłaszcza litologii. Pewne przesłanki zwracają jednak uwagę na to, że oddziaływanie ukształtowania stropu węglonośnego karbonu także jest możliwe. Po pierwsze, pewna liczba otworów, w których średnia metanonośność przystropowych pokładów węgla przekracza $8 \text{ m}^3/\text{t}$ csw, zlokalizowana jest w obrębie stromego skłonu powierzchni karbońskiej (progu morfologicznego), dodatkowo urozmaiconego systemem paleodolin wciosowych, związanego z dyslokacją Bzie-Czechowice (np. otwory Bzie-Dębina 3, Warszawice-Pawłowice 11, Moszczenica 20). Po drugie, miąższość przystropowej strefy metanonośnej jest większa po północnej stronie dyslokacji Bzie-Czechowice, w obrębie paleogrzbiotu Pawłowice, niż po południowej, w rejonie obniżonego stropu, w obrębie np. paleodoliny

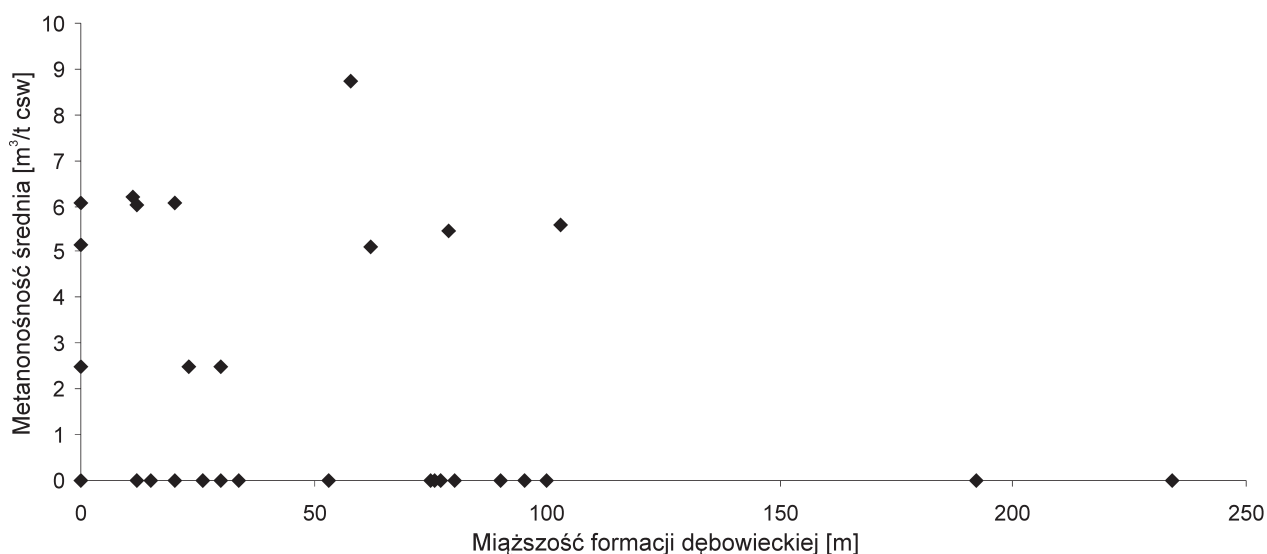


Rys. 4.3. Miąższość utworów krakowskiej serii piaskowcowej w polu Ćwiklice (źródło danych: PEKAŁA, 1992c):

1 — granica pola, 2 — izopachyta krakowskiej serii piaskowcowej [m], 3 — uskoki, 4 — otwór, w którym występuje przystopowa strefa metanonośna, 5 — otwór, w którym brak przystopowej strefy metanonośnej, 6 — otwór bez danych na temat metanonośności pokładów



Rys. 4.4. Metanonośność średnia pokładów w przystropowej strefie metanonośnej i miąższość formacji dębowieckiej w rejonie Bzia-Dębiny (źródło danych: KRZANOWSKA, 2005, 2008)



Rys. 4.5. Metanonośność średnia pokładów w przystropowej strefie metanonośnej i miąższość formacji dębowieckiej w rejonie Zebrzydowice-Kaczyc (źródło danych: HOJKA, 2006; PEKAŁA, 1990)

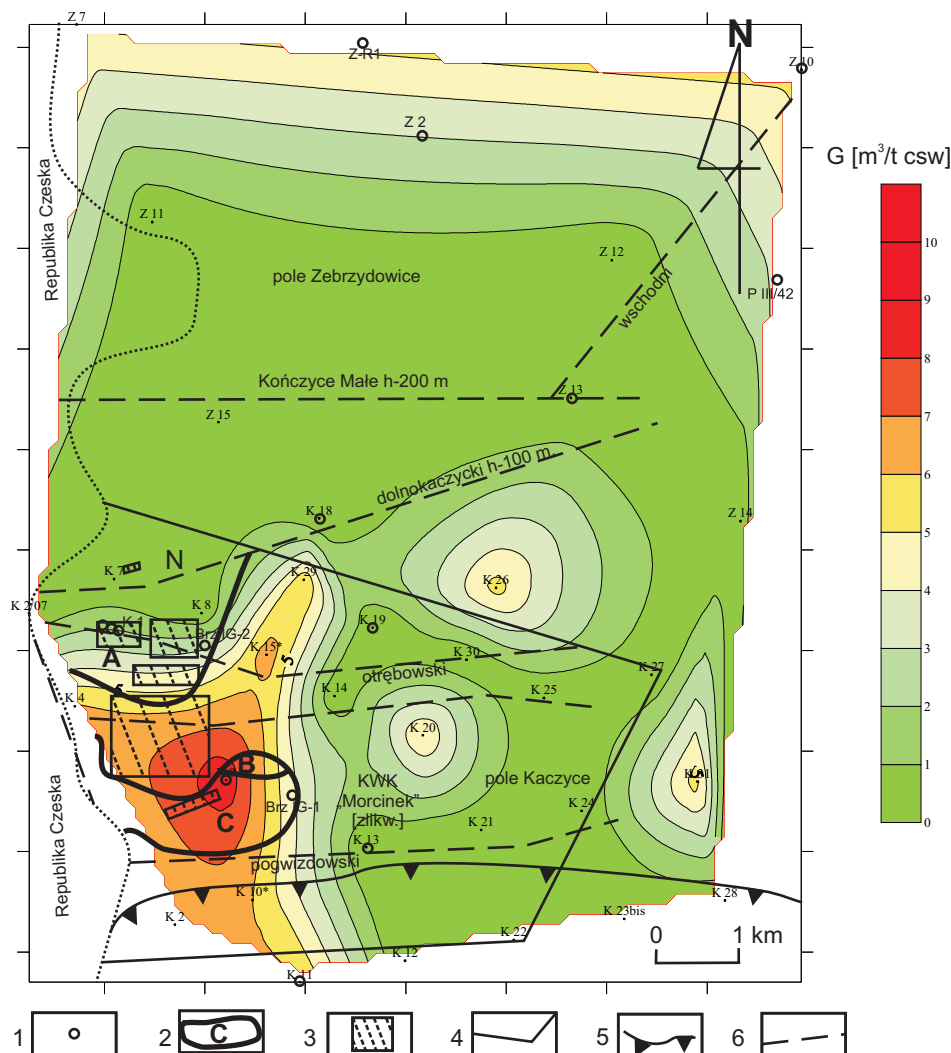
Strumienia. Analiza metanonośności średniej w konturze strefy w rejonie Kaczyc wykazuje, że wartość maksymalną, wynoszącą 8,6 m³/t csw, zanotowano w otworze Kaczyc 9, zlokalizowanym w centralnej, morfologicznie podniesionej części pola Kaczyc (tabela 4.1). Otwory w rejonie Zebrzydowice-Kaczyc, w których wykazano obecność przystropowej strefy gazonośnej, zgrupowane są w postaci dwóch izolowanych obszarów, z których jeden rozciąga się wokół garbu Kaczyc, natomiast drugi na północy rejonu Zebrzydowice, w obrębie północnego zbocza wymycia błudowicko-skoczowskiego (rys. 4.6). Osiowa partia tego wymycia, w której strop węglonośnego karbonu obniża się do poziomu –1 000 m npm, pozbawiona jest przystropowych akumulacji metanu sorbowanego w pokładach węgla. Natomiast w rejonie Warszowice-Pawłowice szczytowa partia paleogrzbiotu Pawłowice (otwory Pawłowice 5, 6 i 8)

pozbawiona jest przystropowych akumulacji metanu (rys. 4.1).

Aby dokładniej sprawdzić, jak kształtuje się średnia metanonośność pokładów w konturze przystropowej strefy gazonośnej w obrębie poszczególnych form morfologicznych powierzchni utworów karbonu, otwory wiertnicze podzielono na trzy grupy lokalizacyjne:

- otwory umiejscowione w obrębie najniższej części paleodolin (dna paleodolin),
- otwory leżące w obrębie paleogrzbiotów,
- otwory zlokalizowane w obrębie skłónów paleogrzbiotów powierzchni karbońskiej.

Pod uwagę wzięto jedynie te otwory, które znajdują się wyłącznie w zasięgu serii mułowcowej, odrzucając otwory przewiercające piaskowce łaziskie krakowskiej serii piaskowcowej, w celu wyeliminowania ich niekorzystnego wpływu na wielkość metanonośności pokładów.



Rys. 4.6. Metanonośność średnia G w konturze przystropowej strefy metanonośnej w otworach wiertniczych zlokalizowanych w rejonie Zebrzydowice-Kaczyc (źródło danych: GODULA, JANAS, 1996; HOJKA, 2006, PEKAŁA, 1990):

1 — otwory z objawami gazu wolnego w skałach płonnych, 2 — granice partii złoża gazu wolnego Kaczyc 1, 3 — zasięg skumulowanych robót górniczych KWK „Morcinek”, 4 — granica OG byłej KWK „Morcinek”, 5 — nasunięcie karpackie, 6 — ważniejsze uskoki

Dla każdej z wymienionych grup policzono otwory, w których średnia metanonośność mieści się w przedziałach:

- 0—2,5 m³/t csw,
- 2,5—8 m³/t csw,
- powyżej 8 m³/t csw.

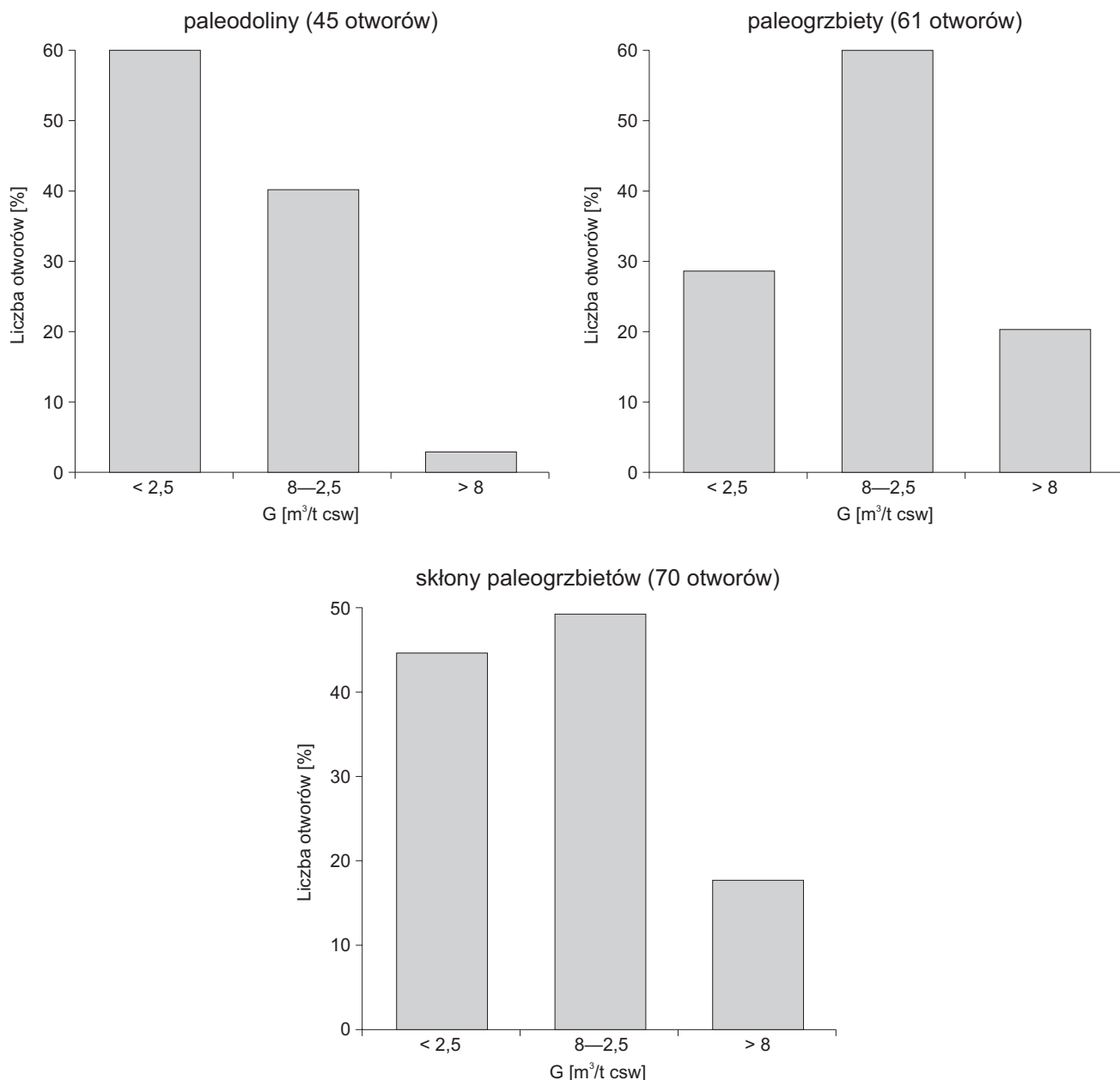
Następnie obliczono, ile procent całkowitej liczby otworów z poszczególnych grup stanowią te, w których metanonośność mieści się w podanych wcześniej przedziałach. Wyniki zaprezentowano na rys. 4.7.

Ze względu na różną liczbę otworów w grupach lokalizacyjnych uzyskane wyniki są jedynie szacunkowe, jednak mogą stanowić przesłankę, że metanonośność pokładów w przystropowej strefie może być także kształtowana przez morfologię powierzchni stropowej utworów karbońskich, przy czym najdogodniejszymi miejscami akumulacji metanu sorbowanego w pokładach węgla byłyby partie wyniesione stropu utworów karbonu (pale-

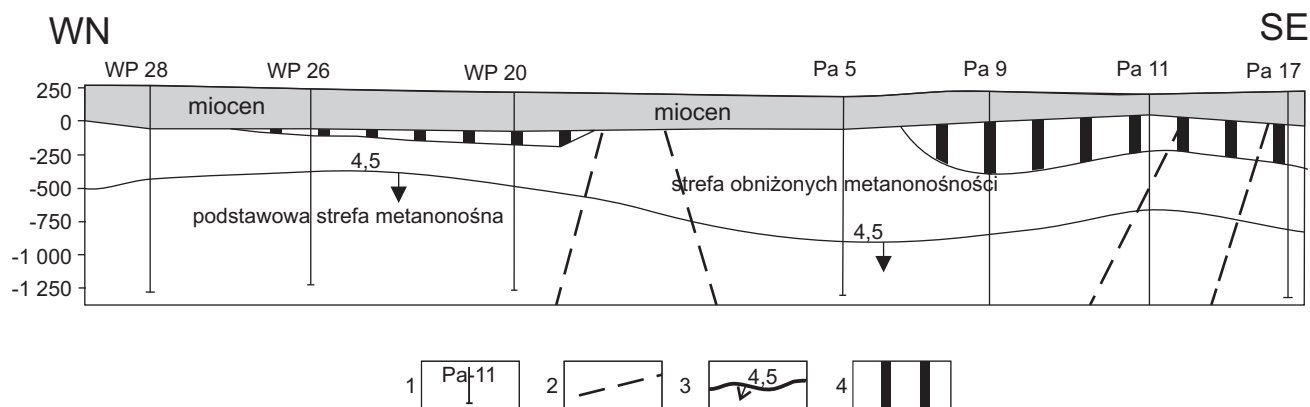
ogrzbiety) oraz ich skłony (rys. 4.8, por. KĘDZIOR, 2009c, d, 2011).

Skład cząsteczkowy gazu występującego w stropowej partii karbonu ilustruje tabela 4.2. Dominującym składnikiem jest tu metan, natomiast etan występuje w ilościach śladowych. Spadek zawartości metanu w gazie rekompensowany jest wzrostem zawartości azotu.

Reasumując, w badanym obszarze przystropowa strefa gazonośna w kontekście metanonośności pokładów wykazuje najbardziej ciągły i zwarty charakter w polach Warszowice-Pawłowice oraz Bzie-Dębina (część wschodnia), co najprawdopodobniej wynika z litologii utworów budujących stropową partię węglonośnego karbonu oraz nadkład mioceński (uszczelniający charakter skał drobnoookruchowych serii mułowcowej i leżących powyżej iłów formacji skawińskiej). W kierunku wschodnim i południowym omawiana strefa gazonośna się rozczłonkowuje, co zbiega się z występowaniem



Rys. 4.7. Udział procentowy otworów wiertniczych, w których średnia metanonośność G pokładów w konturze przystopowej strefy metanonośnej mieści się w przedziałach 0—2,5, 2,5—8 i od 8 m³/t csw, zlokalizowanych w obrębie poszczególnych form morfologicznych stropu utworów karbonu



Rys. 4.8. Przekrój geologiczno-gazowy przez pole Pawłowice (KRZANOWSKA, 2002, zmienione):

1 — otwór wiertniczy; 2 — uskoki; 3 — izarytma metanonośności 4,5 m³/t csw, kierunek wzrostu metanonośności wg strzałki; 4 — przystopowa strefa metanonośna

Tabela 4.2. Zawartość wybranych składników gazu sorbowanego w pokładach węglowych w przystropowej strefie metanonośnej w badanym obszarze (GODULA, JANAS, 1996; KRZANOWSKA, 2005; PEKAŁA, 1990; MANDRELA, PEKAŁA, 2002)

Lp.	Otwór	Głębokość [m]	Zawartość [%]		
			metanu	etanu	azotu
1.	Pawłowice 1	345	70,05	0,04	28,88
2.	Pawłowice 17	389	77,54	0,07	20,37
3.	Warszowice-Pawłowice 30	357	92,09	0,01	5,93
4.	Warszowice-Pawłowice 88/2/96	366	85,53	0,01	13,80
5.	Warszowice 4/91	643	91,29	0,06	6,90
6.	Moszczenica 20	617	90,74	0,01	8,78
7.	Bzie-Dębina 3	870	66,75	0,01	32,30
8.	Bzie-Dębina 7	965	64,44	0,00	34,51
9.	Bzie-Dębina 13	801	74,91	0,04	24,34
10.	Bzie-Dębina 16	951	74,83	0,02	24,54
11.	Bzie-Dębina 17	994	88,91	0,03	10,15
12.	Bzie-Dębina 18	1 000	66,07	0,00	33,18
13.	Bzie-Dębina 29 bis	817	91,01	0,00	8,51
14.	Bzie-Dębina 40	728	87,16	0,00	12,19
15.	Bzie-Dębina 42*	710	88,07	0,01	11,04
16.	Bzie-Dębina 54*	912	94,51	0,06	4,56
17.	Zebrzydowice 9	773	63,31	0,22	35,30
18.	Bzie-Dębina 50	929	29,28	0,03	65,77
19.	Kaczyce 2	745	88,25	0,51	9,63
20.	Kaczyce 31	1 015	62,45	0,26	36,45

* Strefa przystropowa połączona ze strefą głęboką.

porowatych i przepuszczalnych piaskowców łaziskich na wschodzie obszaru (rejon Ćwiklic i Dankowic), na południu zaś — przepuszczalnych formacji skalnych w spągu nadkładu mioceńskiego (dębowieckiej w rejonach Bzie-Dębiny, Zebrzydowic oraz Kaczyce).

4.2. Metanonośność piaskowców

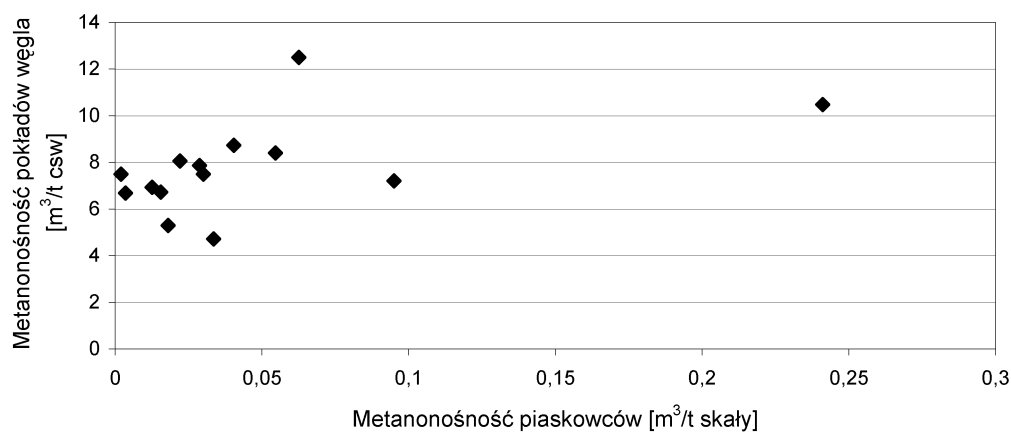
Metanonośność piaskowców oraz procentową zawartość metanu w gazie w rejonie Warszowic-Pawłowic ilustruje tabela 4.3. Wynika z niej,

że przeciętna metanonośność piaskowców w badanym rejonie wynosi 0,04 m³/t skały, maksymalną wartość liczącą 0,2 m³/t skały odnotowano w otworze Warszowice-Pawłowice 9, a minimalną (0,02 m³/t skały) w otworze Warszowice-Pawłowice 48. Ilość metanu w gazie uzyskanym z piaskowców nie przekracza 25%, przeciętnie wynosi nieco ponad 3%. Zaznacza się słaba pozytywna zależność między średnią metanonośnością piaskowców a średnią metanonośnością pokładów węgla w obrębie przystropowej strefy metanonośnej (rys. 4.9). Badania gazonośności piaskowców prowadzone w otworach wiertniczych w rejonie Ćwiklic i Dankowic wykazały jedynie ślady metanu (PEKAŁA, 1992c). Jednak z uwagi na występowanie

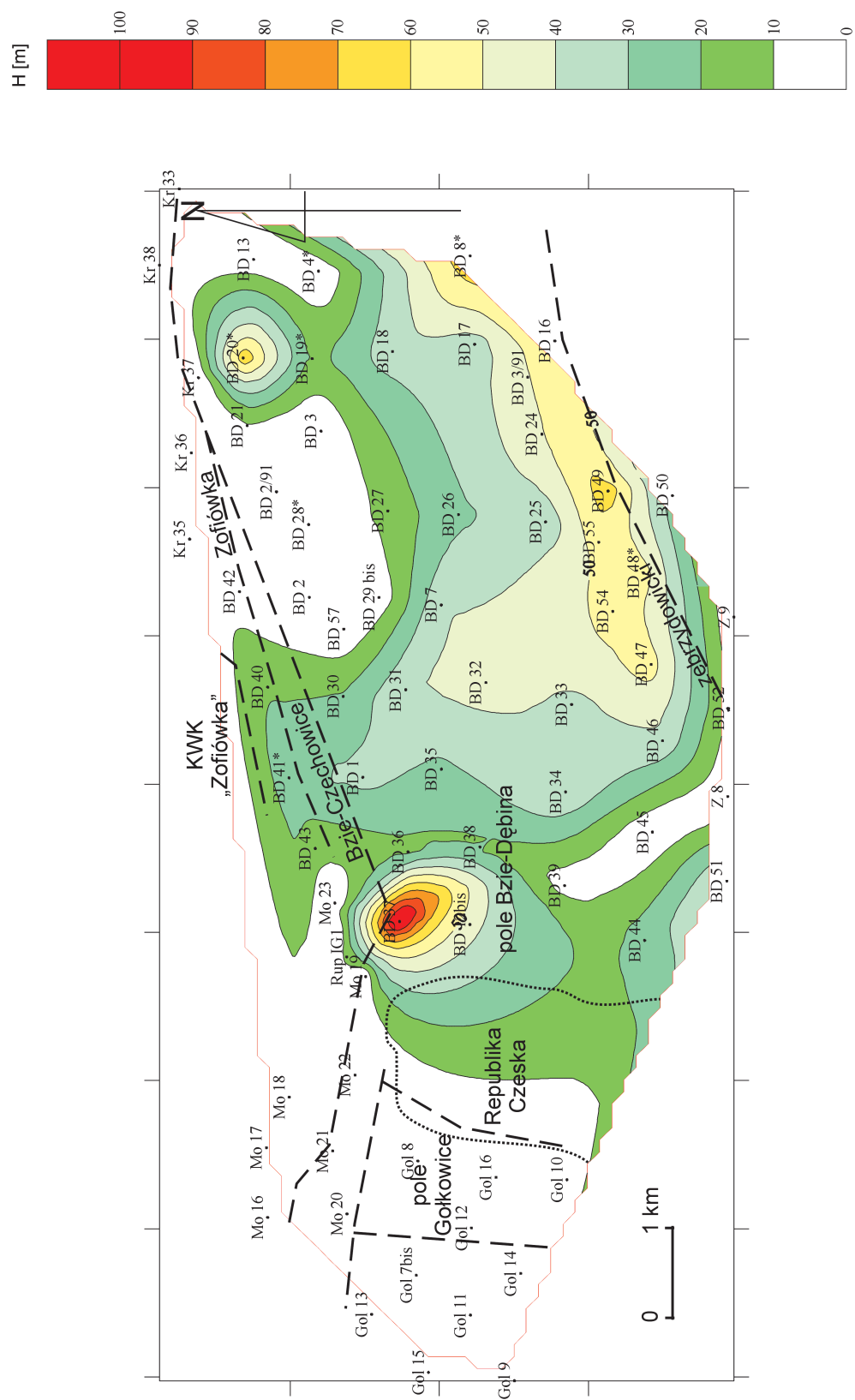
Tabela 4.3. Metanonośność piaskowców karbońskich w rejonie Warszowice-Pawłowice (MANDRELA, PEKAŁA, 2002; KRZANOWSKA, 2002)

Lp.	Otwór	Głębokość [m]	Metanonośność próbki [m ³ /t skały]	Zawartość procentowa metanu	Wartość średnia [m ³ /t skały]	Metanonośność węgla [m ³ /t csw]
1.	Warszowice-Pawłowice 4	383—392	0,013	1,74	0,020	nie badano
		460—466	0,021	3,82		
		587—588	0,025	4,64		
2.	Warszowice-Pawłowice 9	696—707	0,241	24,90	0,241	10,477

1	2	3	4	5	6	7
3.	Warszowice-Pawłowice 11	569—595	0,057	9,90	0,063	12,5
		664—678	0,068	9,90		
4.	Warszowice-Pawłowice 13	548—553	0,015	1,10	0,029	7,869
		570—574	0,061	0,76		
		592—594	0,010	0,67		
5.	Warszowice-Pawłowice 19	321—322	0,112	8,5	0,055	8,396
		347—351	0,118	4,05		
		455—480	0,009	0,32		
		554—566	0,023	0,92		
		684—689	0,011	0,48		
6.	Warszowice-Pawłowice 20	268—297	0,018	0,49	0,034	4,721
		321—337	0,049	2,60		
7.	Warszowice-Pawłowice 23	559—583	0,018	5,1	0,018	5,296
8.	Warszowice-Pawłowice 25	467—472	0,031	1,70	0,022	8,056
		635—654	0,013	0,40		
9.	Warszowice-Pawłowice 28	284—291	0,009	2,6	0,009	nie badano
10.	Warszowice-Pawłowice 29	294—301	0,096	4,91	0,095	7,207
		314—317	0,094	4,43		
11.	Warszowice-Pawłowice 30	351—357	0,111	3,84	0,040	8,726
		363—368	0,062	2,7		
		500—508	0,005	0,13		
		570—580	0,005	0,09		
		598—606	0,019	0,23		
12.	Warszowice-Pawłowice 32	653—674	0,007	0,46	0,016	6,724
		688—701	0,024	1,15		
13.	Warszowice-Pawłowice 35	342—350	0,005	0,41	0,013	6,936
		381—389	0,02	1,74		
14.	Warszowice-Pawłowice 40	438—445	0,002	0,1	0,002	7,5
15.	Warszowice-Pawłowice 41	335—341	0,03	1,75	0,030	7,5
16.	Warszowice-Pawłowice 48	458—467	0,002	0,19	0,004	6,69
		570—575	0,005	0,24		



Rys. 4.9. Metanonośność piaskowców i pokładów węgla w rejonie Warszowic-Pawłowic (MANDRELA, PEKAŁA, 2002)



Rys. 4.10. Miąższość (H) formacji dębowieckiej w rejonie Bzla-Dębina (NIEMCZYK, 1998)
Objaśnienia jak do rys. 4.1

metanu w pokładach węgla nie można wykluczyć podwyższonych koncentracji tego gazu w piaskowcach.

4.3. Objawy gazu wolnego w otworach wiertniczych

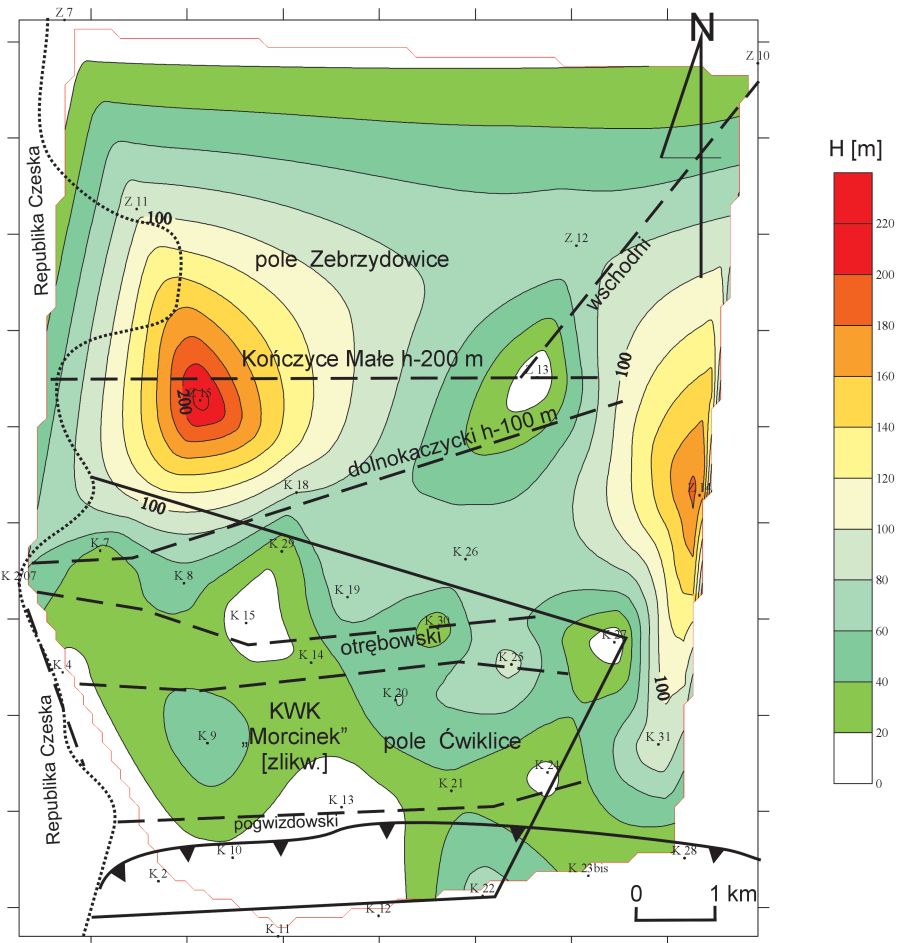
Gaz wolny obserwowany był w trakcie robót wiertniczych na ogół w rejonach zlokalizowanych po południowej stronie dyslokacji Bzie-Czechowice. W żadnym z otworów w polu Warszowice-Pawłowice (po północnej stronie wspomnianej dyslokacji) nie stwierdzono dopływów gazu wolnego ani zgazowanych wód. W polu Pawłowice

dopływy zgazowanych wód zaobserwowano jedynie w trzech otworach (tabela 4.4) umiejscowionych w centralnej jego części. W rejonach Bzie-Dębina, Zebrzydowice i Kaczycze zbiornikami metanu wolnego są:

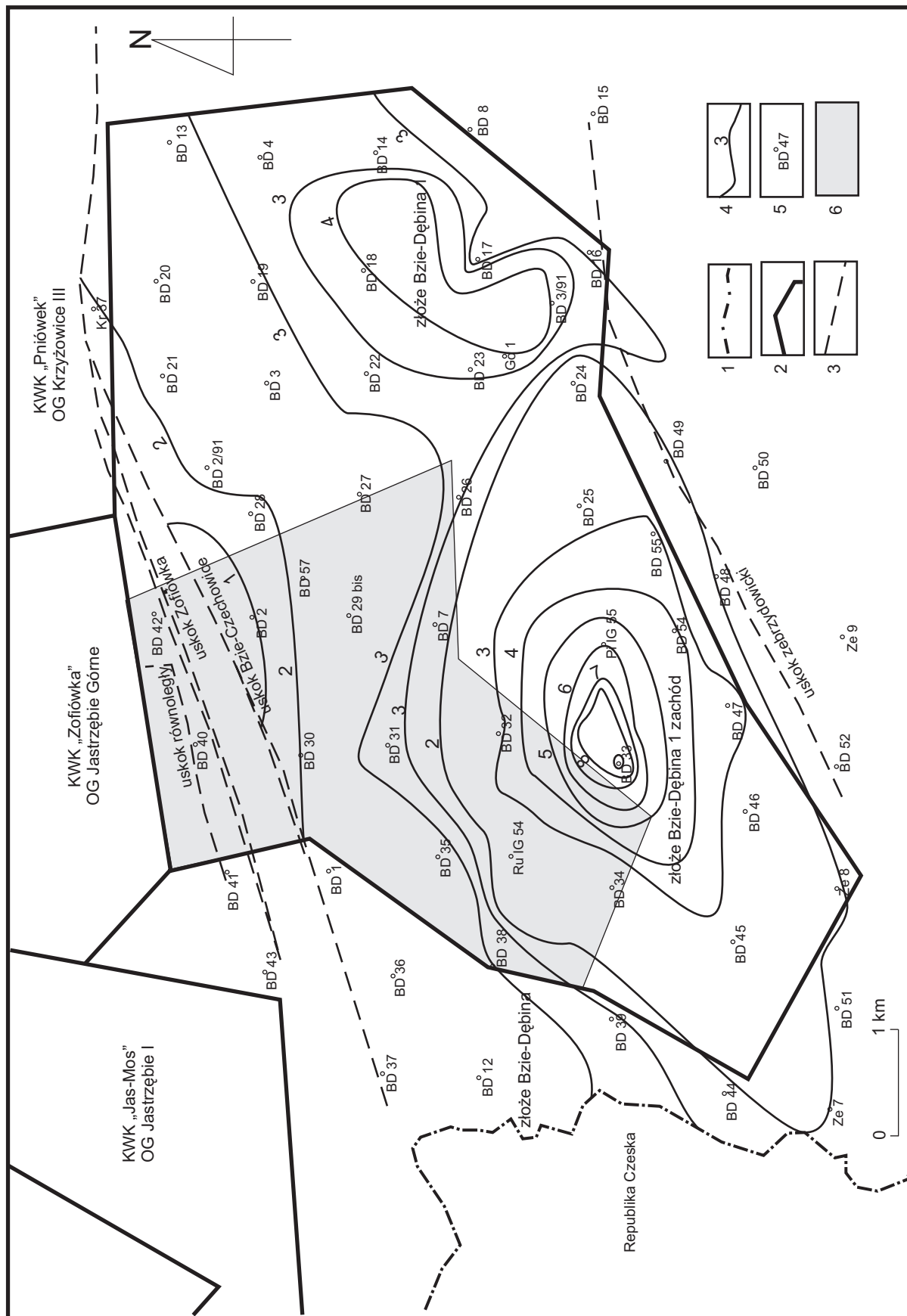
- piaskowce karbońskie;
- zwietrzelina występująca na granicy karbon/miocen (utwory pstre);
- piaskowcowo-zlepieńcowa formacja dębowiecka występująca w spągu miocenu, o zróżnicowanej miąższości od kilku do ponad 200 m (rys. 4.10 i 4.11);
- piaskowiec „reperowy” występujący w miocenie w postaci cienkiej, jednak regularnej warstwy o kilkumetrowej miąższości, wahającej się w granicach od 1 m do ok. 9 m, przeciętnie liczącej 2—3 m (rys 4.12 i 4.13).

Tabela 4.4. Objawy gazu wolnego w otworach wiertniczych w polu Pawłowice (KRZANOWSKA, 2002)

Lp.	Otwór	Głębokość	Stratygrafia	Objawy
1.	Pawłowice-3	228,0—255,4	miocen	przyptyw zgazowanej solanki
2.	Pawłowice-9	322,8—348,1	karbon	silny przyptyw zgazowanej solanki
3.	Pawłowice-IG7	256,0—268,4	karbon, partia stropowa	dopływ wody z gazem

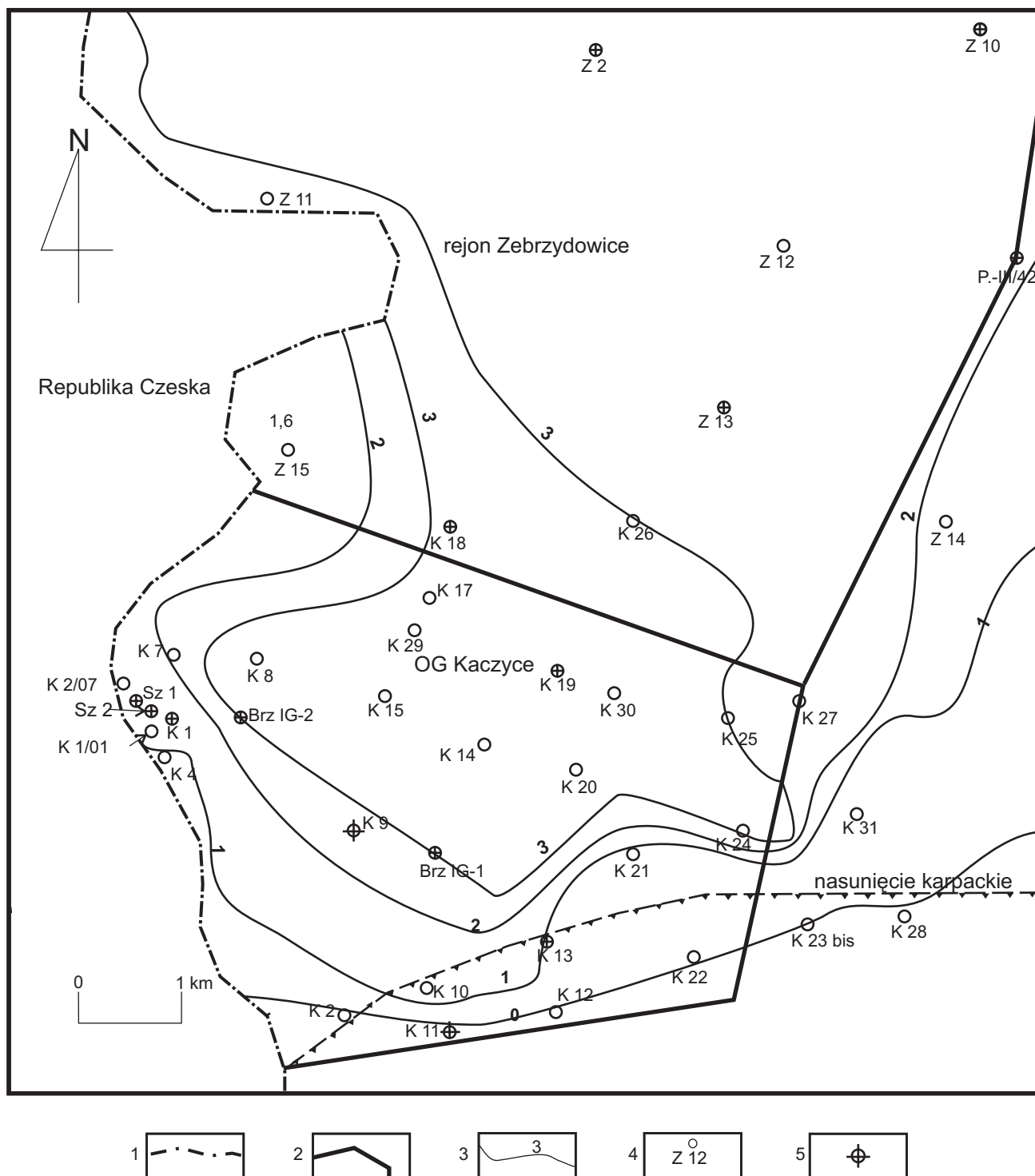


Rys. 4.11. Miąższość formacji dębowieckiej (H) w rejonie Zebrzydowice-Kaczyc (HOJKA, 2006)
Objaśnienia jak do rys. 4.1



Rys. 4.12. Miąższość piaskowca reperowego w polu Bzice-Dębina (lokalizacja otworów i granice OG wg S. Kępcziora, 2009c):

1 — granice państwowa, 2 — granice obszarów górniczych, 3 — ważniejsze uskoki, 4 — otwór wiertniczy, 5 — izopachyta piaskowca reperowego [m], 6 — obszar planowanej eksploatacji węgla w polu Bzice-Dębina

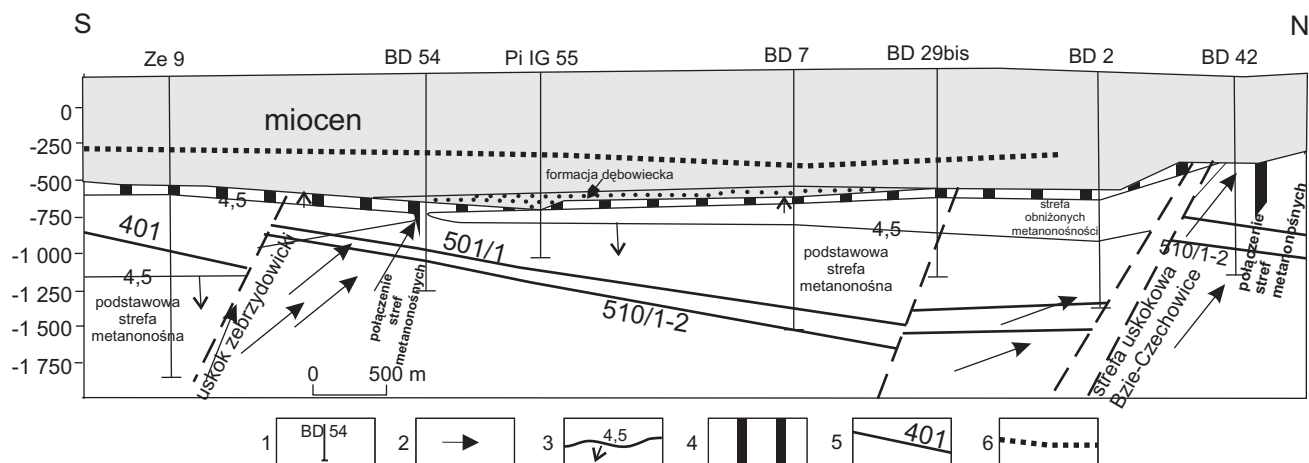


Rys. 4.13. Miąższość piaskowca reperowego w rejonie Zbrzydowic-Kaczyce:

1 — granica państwowa, 2 — granice obszarów górniczych, 3 — izopachyta piaskowca reperowego [m], 4 — otwór wiertniczy, 5 — otwór wiertniczy, w którym stwierdzono objawy gazu wolnego w skałach płonnych. Pozostałe objaśnienia jak do rys. 4.5

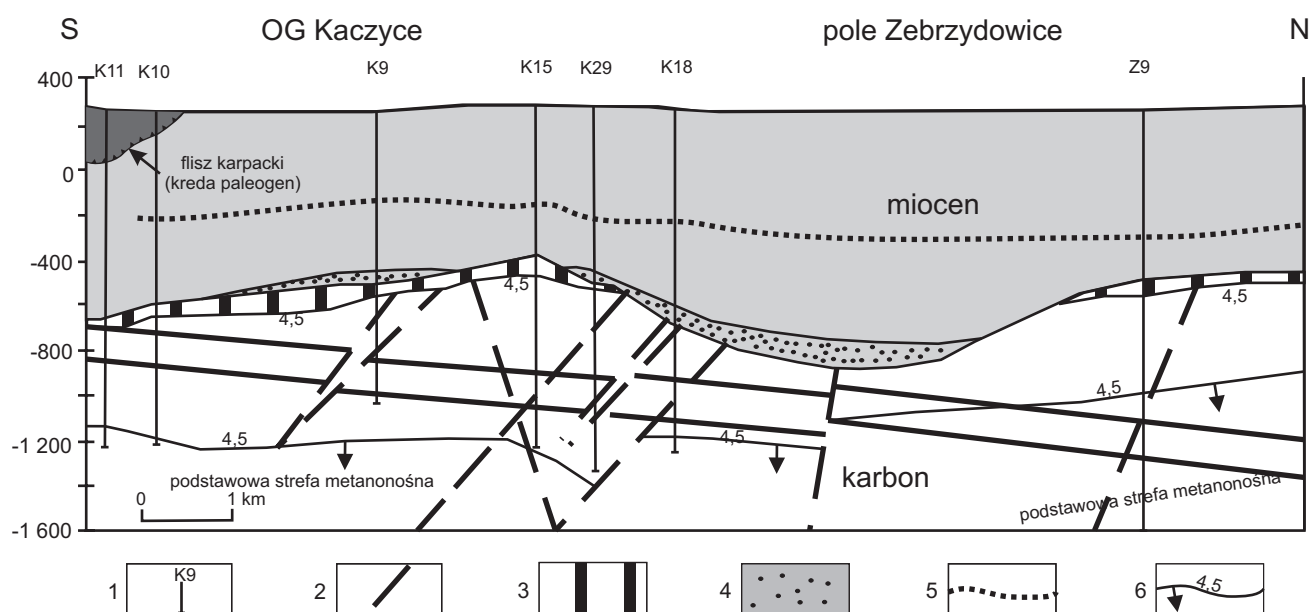
Metan wolny w wymienionych horyzontach współwystępuje z wodą. Szczególnie wyróżniającymi się horyzontami wodno-gazowymi są piaskowce i zlepieńce zalegające w obrębie zwietrzliny karbońskiej oraz w formacji dębowieckiej. W tej ostatniej dominującym medium jest woda, a gaz występuje podrzędnie. Wyjątkowo gazonośny jest piaskowiec reperowy, niezależny od pozostałych horyzontów i oddzielony od nich miąższym pakietem

utworów nieprzepuszczalnych (iłów miocenijskich, rys. 4.14 i 4.15). Piaskowiec ten występuje między strefą uskokową Bzie-Czechowice na północy a nasunięciem karpackim na południu. Jest to piaskowiec drobnziarnisty do pylistego, miejscami zailony. Dla wody jest on słabo przepuszczalny lub półprzepuszczalny (KRZANOWSKA, 2005), a o wiele bardziej przepuszczalny dla gazu, stąd gaz występuje w nim w formie wolnej, niezależnie od obecności wody.



Rys. 4.14. Przekrój geologiczno-gazowy przez pole Bzie-Dębina (KRZANOWSKA, 2005, zmienione):

1 — otwór wiertniczy; 2 — kierunek przypuszczalnej migracji metanu termogenicznego; 3 — izarytma metanonośności pokładu, wzrost metanonośności według strzałki; 4 — przystopowa strefa metanonośna; 5 — pokład węgla; 6 — piaskowiec reperowy



Rys. 4.15. Przekrój geologiczno-gazowy przez rejon Zebrzydowice-Kaczyc (GODULA, JANAS, 1996; HOJKA, 2006; PEKAŁA, 1990, zmodyfikowane):

1 — otwór wiertniczy; 2 — uskoki; 3 — przystopowa strefa metanonośna; 4 — formacja dębowiecka; 5 — piaskowiec reperowy; 6 — izarytma metanonośności 4,5 m³/t csu, kierunek wzrostu metanonośności wg strzałki

Tabela 4.5. Objawy gazu wolnego w otworach wiertniczych w polu Bzie-Dębina (KRZANOWSKA, 2005)

Lp.	Otwór	Głębokość	Stratygrafia	Objawy
1.	Bzie-Dębina 8	brak danych	karbon	gazonośny piaskowiec 0,307 m ³ gazu/tonę skały
2.	Bzie-Dębina 16	605,2—609,2	miocen	gwałtowny wypływ gazu bez wody o wielkości 100—200 m ³ /min trwający kilkadziesiąt godzin
3.	Bzie-Dębina 18	674,6—676,6	miocen	dopływ zgazowanych wód
4.	Bzie-Dębina 29	506	miocen	gwałtowny wypływ gazu bez wody o wielkości 20—50 m ³ /min trwający kilkadziesiąt godzin, ciśnienie 0,5 MPa
5.	Bzie-Dębina 29 bis	328,0—344,0	miocen	dopływ zgazowanych wód
6.	Bzie-Dębina 31	ok. 800	miocen, warstwy dębowieckie	dopływ zgazowanych wód
7.	Bzie-Dębina 33	426,0—434,0	miocen	dopływ zgazowanych wód
8.	Bzie-Dębina 34	606,0—607,0	miocen	dopływ zgazowanych wód
9.	Bzie-Dębina 51	ok. 850	miocen, warstwy dębowieckie	dopływ zgazowanych wód

Objawy gazu wolnego w otworach wiertniczych ilustruje tabela 4.5, z której wynika, że zaobserwowano je w różnych częściach obszaru i to zarówno w otworach z wykształconą przystropową strefą gazu sorbowanego w pokładach węglowych, jak i bez niej. Obserwacja ta upoważnia do stwierdzenia, że metanu wolnego współwystępującego z wodą można spodziewać się w całym badanym rejonie położonym na południe od dyslokacji Bzie-Czechowice, o czym świadczy obecność przepuszczalnej i porowatej zwietrzliny karbońskiej na granicy karbonu i mioce-
nu, a także piaszczysto-żwirowej formacji dębowieckiej oraz piaskowca reperowego.

Metan wolny wraz z sorbowanym może stanowić zagrożenia wybuchowe oraz pożarowe w trakcie budowy nowej kopalni węgla w rejonie Bzie-Dębina (np. głębienia szybów). Skład cząsteczkowy gazu wolnego zaprezentowany w tabeli 4.6

charakteryzuje się znaczną przewagą metanu, co nie pozostaje bez wpływu na bezpieczeństwo planowanych w tym rejonie robót górniczych.

Objawy gazu wolnego w otworach wiertniczych zlokalizowanych w rejonach Zebrzydowice i Kaczyce przedstawione zostały w tabeli 4.7. Lokalizację otworów, w których stwierdzono takie objawy, ukazano na rys. 4.6 i 4.13.

Jak wynika z przekrojów geologiczno-gazowych (rys. 4.14 i 4.15), wystąpienia gazu wolnego oraz metanu sorbowanego w pokładach węgla mogą mieć miejsce wspólnie lub niezależnie od siebie, niemniej jednak mogą być traktowane jako jeden nadrzędny kompleks gazonośny występujący na granicy karbonu i mioce-
nu. Jak już wspomniano, w składzie gazu wolnego dominuje metan (ponad 94%), z pozostałych składników zaznacza się azot (ok. 5%) oraz etan i hel (<0,1%).

Tabela 4.6. Skład cząsteczkowy gazu wolnego z utworów mioceńskich w polu Bzie-Dębina (KRZANOWSKA, 2005)

Lp.	Otwór	Głębokość	Skład cząsteczkowy gazu [%]									
			CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	N ₂	CO	CO ₂	H ₂	He	O ₂
1.	Bzie-Dębina 16	606,2—608,2	98,7	0,08	0	0	1,17	0	0,01	0,03	0,01	0,01
2.	Bzie-Dębina 18	674,6—676,6	94,85	0,05	0	0	3,5	1,12	0,08	0,37	0,01	0,02
3.	Bzie-Dębina 29	506	91,1	0,04	0	0	7,01	0	0,06	0	0,03	1,76
4.	Bzie-Dębina 29 bis	328,0—344,0	98,73	0,04	0	0	1,09	0	0,07	0	0,04	0,02
5.	Bzie-Dębina 33	426,0—434,0	92,47	0,06	0	0	6,09	0,14	0,07	0,59	0,02	0,55
6.	Bzie-Dębina 34	606,0—607,0	91,96	0,06	0	0	6,78	0,02	0,09	0,21	0,04	0,83

Tabela 4.7. Objawy gazu wolnego w miocenie i karbonie w rejonie Zebrzydowice-Kaczyce (GODULA, JANAS, 1996; PEKAŁA, 1990)

Lp.	Otwór	Głębokość	Stratygrafia	Objawy
1.	Zebrzydowice 2	300	miocen	silny wybuch gazu zakumulowanego w ilach piaszczystych
2.	Zebrzydowice R-1	652	miocen	kilkugodzinny wypływ gazu
3.	Zebrzydowice 10	brak danych	karbon	dopływ wody z gazem
4.	Zebrzydowice 13	brak danych	karbon	dopływ wody z gazem
5.	Pruchna P-III/42	342—365	miocen	zgazowanie płuczki
6.	Szyb 1	poz. 800	karbon	wydzielanie się metanu ze strefy uskokowej
7.	Kaczyce 1	386—582	miocen, warstwy dębowieckie	dopływ zgazowanej wody pod ciśnieniem 0,3 MPa
8.	Kaczyce 1/G	519—534	miocen, warstwy dębowieckie	dopływ gazu o wydajności 11 m ³ /h i ciśnieniu 2,7 MPa
9.	Kaczyce 9	662—739 743—788	miocen	dopływ zgazowanej wody
10.	Kaczyce 11	187—206	kreda	dopływ zgazowanej wody
11.	Kaczyce 13	303—440 879—896	miocen	dopływ zgazowanej wody
12.	Kaczyce 18	840	miocen, warstwy dębowieckie	wypływ gazu
13.	Kaczyce 19	866—888	miocen, warstwy dębowieckie	dopływ zgazowanej wody
14.	Kaczyce 26	879—896	miocen, warstwy dębowieckie	dopływ zgazowanej wody
15.	badawczy 2 pod szyb 2	ok. 500	miocen, warstwy dębowieckie	dopływ gazu o wydajności 22,5 m ³ /h
16.	Brzezówka IG-1	388—390 576—707	miocen/karbon	dopływ gazu 17,4 m ³ /min, dopływ silnie zgazowanych wód

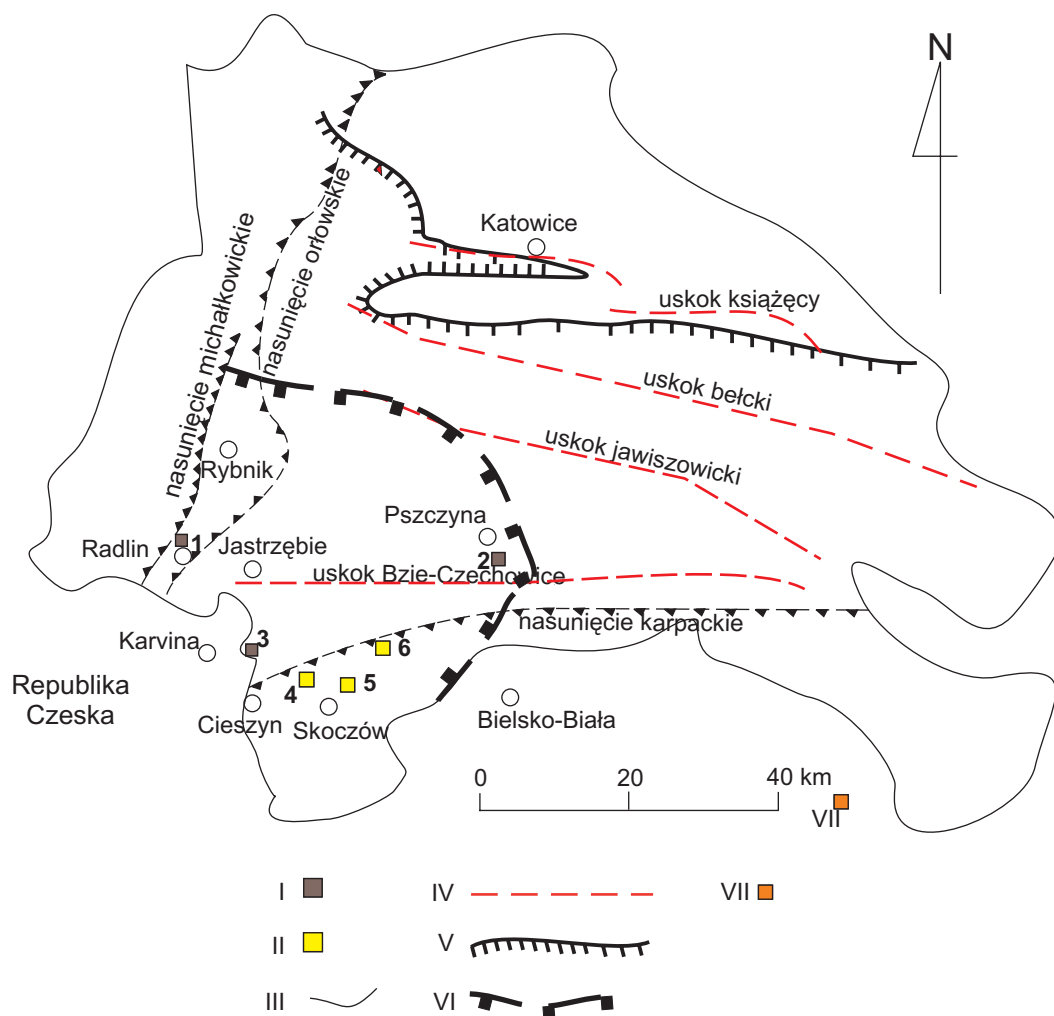
4.4. Przemysłowe akumulacje metanu wolnego w stropie utworów karbonu oraz konwencjonalne złoża gazu ziemnego w utworach mioceńskich

4.4.1. Akumulacje w stropowych partiach karbonu

4.4.1.1. Akumulacja metanu wolnego KWK „Marklowice”

Akumulacja ta została częściowo opisana w rozdziałach 1.2 i 2.2. Znajduje się poza badanym obszarem, w obrębie fałdowej części GZW, w niecce

chwałowickiej (rys. 4.16). Skałami zbiornikowymi gazu są piaskowce rudzkie i siodłowe przynależne do górnośląskiej serii piaskowcowej oraz porębskie serii paralicznej, które tworzą kilka horyzontów gazonośnych przedzielonych pokładami węgla. Porowatość piaskowców wynosi ok. 10% (KARNKOWSKI, 1993). Ekran izolujący stanowi ilasty nadkład mioceński. Początkowe zasoby wydobywalne oszacowano na ponad 800 mln m³ (KĘDZIOR, 2008c; SOKOŁOWSKA, 1993), co sprawia, że akumulację marklowicką określa się największym tego typu nagromadzeniem gazu odkrytym w GZW, zawierającym metan wolny w piaskowcach oraz sorbowany w pokładach węgla. Metan był eksploatowany otworowo jako samodzielne złożo gazu oraz w celu redukcji jego obecności w wyrobiskach kopalnianych (OBUCHOWICZ, 1963; rozdział 1.2). Początkowe ciśnienie złożowe gazu było niższe od hydrostatycznego (KARNKOWSKI, 1993). W trakcie eksploatacji okazało się, że migracja gazu zwiększa się ze spadkiem ciśnienia złożowego, co sugeruje, że ilość metanu wolnego w złożu jest sukcesywnie



Rys. 4.16. Rozmieszczenie złóż gazu ziemnego (metanu wolnego) w GZW (KĘDZIOR 2008c, zmienione):

I — złoża w utworach karbonu górnego (węglonośnego): 1 — Marklowice, 2 — Silesia, 3 — Kaczyce 1; II — złoża w utworach mioceńskich: 4 — Dębowiec Śląski, 5 — Pogórz, 6 — Kowale; III — granica GZW na obszarze Polski; IV — ważniejsze uskoki; V — przybliżony zasięg zwartej pokrywy mioceńskiej; VI — przybliżony zasięg przystropowej strefy metanonośnej; VII — złożo gazu ziemnego Lachowice-Stryszawa (w utworach dewonu)

uzupełniania metanem desorbującym z pokładów węgla (KARNKOWSKI, 1993; OBUCHOWICZ, 1963). Szczytowy okres eksploatacji gazu przypadł na lata 1950—1974, wydobyto go wtedy ponad 300 mln m³ (KOZŁOWSKI, GRĘBSKI, 1982). Obecnie akumulacja ta nie stanowi już samodzielnego złoża gazu w sensie zasobowym i administracyjnym. Niewielkie ilości metanu wolnego jako kopaliny towarzyszącej węglowi kamiennemu, rzędu 0,5 mln m³ rocznie, są pozyskiwane trzema otworami powierzchniowymi w celu zredukowania zagrożenia metanowego w KWK „Marcel”, przy czym znacznie większą ilość odprowadzonego gazu (ok. 6 mln m³ rocznie) stanowi metan ujmowany systemami podziemnego odmetanowania (metan kopalniany; KĘDZIOR, 2008c).

4.4.1.2. Akumulacja metanu wolnego KWK „Silesia”

Zlokalizowana jest w pobliżu badanych rejonów Ćwiklice oraz Dankowice, w obszarze górnictwa Czechowice II, przynależnym do Przedsiębiorstwa Górniczego „Silesia” sp. z o.o. (rys. 4.1, 4.2 i 4.16). Zbiornikiem metanu wolnego są piaskowce łaziskie. Akumulacja ta była kilkakrotnie eksploatowana, począwszy od 1964 r. Przyczyną nagromadzenia metanu wolnego w piaskowcach łaziskich było podniesienie erozyjne stropu utworów karbońskich w postaci kopuły o powierzchni 6,7 km² oraz jej przykrycie szczelnym pakietem ilów mioceńskich (ROSENMAN, SOSNOWSKI, 1964; GRUDNIK, WATOR, 2000). Złoże to reprezentuje typ pułapki stratygraficzno-litologicznej (KĘDZIOR, WATOR, 2002; LEVORSEN, 1972). Po zakończeniu w 1971 r. pierwszego etapu eksploatacji gazu z powodu wyczerpania się pierwotnych zasobów gaz systematycznie dopływał do złoża wskutek desorpcji metanu z eksploatowanych pokładów węgla w KWK „Silesia” (zjawisko podobne jak w przypadku akumulacji marklowickiej). Czynnikiem wspomagającym powtórna akumulację metanu w piaskowcach było obniżenie się zwierciadła wód kopalnianych i osuszenie piaskowców łaziskich.

W tej sytuacji zasoby gazu w złożu uzupełniły się i można było ponownie wszcząć eksploatację, co uczyniono w 2000 r. Zasoby wydobywalne „odnowionego” gazu oszacowano na 22,2 mln m³ (KĘDZIOR, WATOR, 2002). W latach 2000—2007 ze złoża wydobyto ok. 1,6 mln m³ gazu, zawierającego ok. 80% metanu (KĘDZIOR, 2008c). Gaz eksploatowany jest do chwili obecnej ośmioma otworami powierzchniowymi, wspólnie z metanem

kopalnianym pozyskiwanym wskutek podziemnego odmetanowania.

Mamy więc do czynienia z antropogeniczną akumulacją metanu wolnego, gdyż jej występowanie uwarunkowane jest prowadzoną eksploatacją metanonośnych pokładów węgla i odmetanowaniem złoża. Ujęty gaz wykorzystywany jest na potrzeby własne lub sprzedawany odbiorcom zewnętrznym (Rafinerii Czechowice i Nadwiślańskiej Spółce Energetycznej).

4.4.1.3. Akumulacja metanu wolnego „Kaczyce I” w zrobach byłej KWK „Morcinek”

Kilkunastoletnia eksploatacja węgla prowadzona przez KWK „Morcinek” spowodowała przebudowę dotychczasowego pola gazonośności zarówno gazu wolnego, jak i sorbowanego w rejonie garbu Kaczyce. W szczególności przebudowa ta polegała na wymuszonej przez spadek ciśnienia, spowodowanego naruszeniem równowagi naprężeń w górotworze, migracji gazu z pokładów węgla do skał otaczających oraz wydzielania się gazu rozpuszczonego w wodach złożowych. W wyniku tych procesów doszło do wtórnych akumulacji metanu w skałach zbiornikowych (piaskowcach) oraz w starych zrobach nieczynnej KWK „Morcinek”. W tej sytuacji udokumentowano złoże metanu wolnego „Kaczyce I” o początkowych zasobach wydobywalnych 57,7 mln m³ gazu, obejmujące wszystkie wyrobiska byłej KWK „Morcinek” (KĘDZIOR, 2008c; rys. 4.1, 4.2, 4.6, 4.16). Od 2004 r. polsko-czeska spółka Karbonia PL eksploatuje nagromadzony metan z wyrobisk pokładu 404/1—2, z poziomu 680 m, otworem powierzchniowym Kaczyce 1/01, w ilości ok. 3 mln m³ gazu rocznie (KĘDZIOR, 2008c). W ostatnim czasie wydobywanie gazu bardzo zmalało, prawdopodobnie w efekcie spadku wydajności metanu z otworu spowodowanego dopływem wody do wyrobisk kopalnianych.

W 2007 r., w celu zbadania obecności metanu w formacji dębowieckiej, wykonano otwór Kaczyce 2/07, ponieważ podejrzewano wtórną migrację gazu do tej formacji, jako efekt eksploatacyjnego zaburzenia równowagi ciśnień w górotworze oraz wytworzenia spękań eksploatacyjnych obejmujących swym zasięgiem utwory mioceńskie (HOJKA, 2006), lecz otwór ten wykazał jedynie dopływ wody bez gazu.

Scharakteryzowane akumulacje metanu wolnego w stropowych partiach węglonośnego karbonu

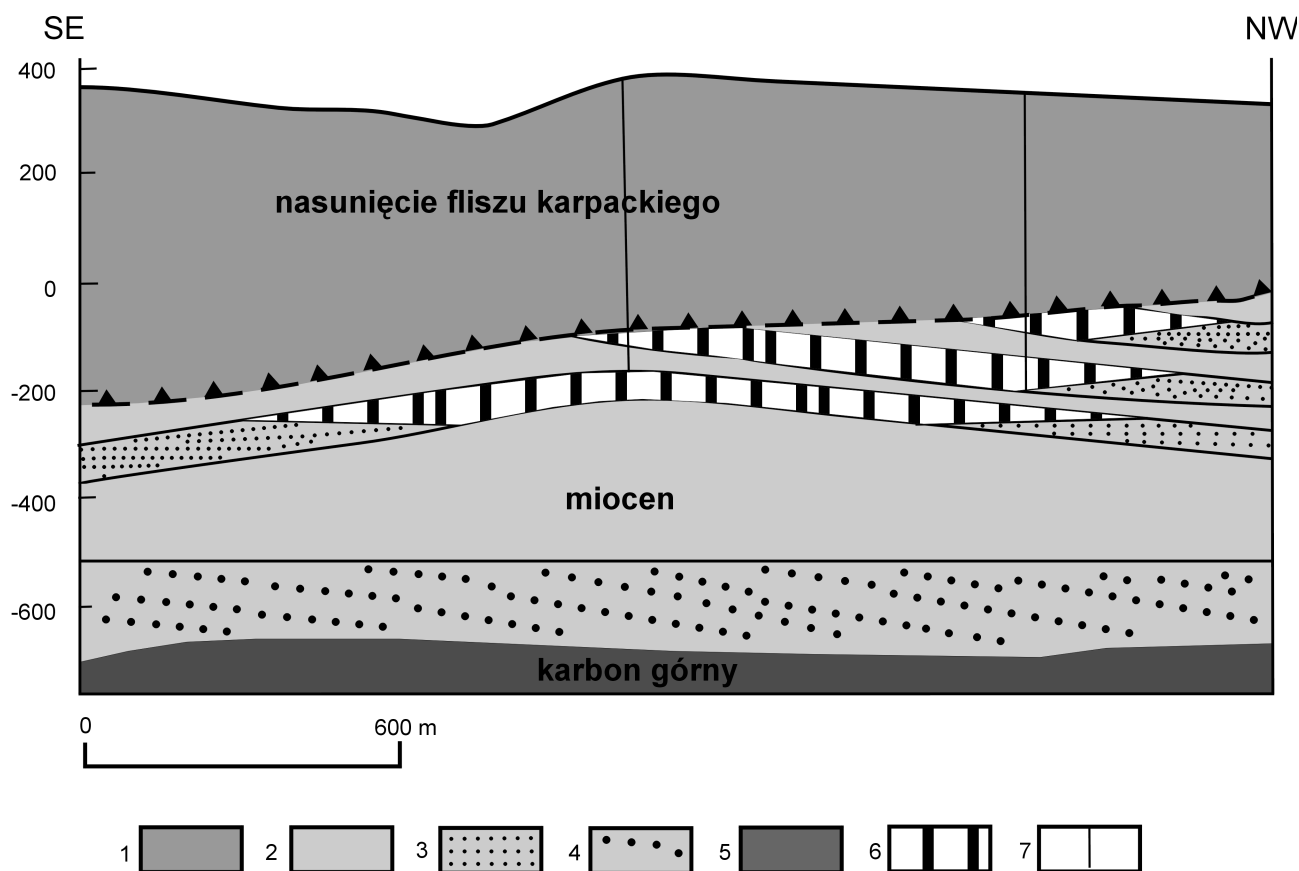
współwystępują z metanem sorbowanym w pokładach węgla i są sukcesywnie uzupełniane gazem desorbującym z pokładów węgla wskutek eksploatacji górniczej oraz prowadzonego odmetanowania („Marklowice” i „Silesia”) lub zaprzestania wydobywania („Kaczyce I”). Zatem akumulacje te można traktować jako część kompleksu gazonośnego usytuowanego przy stropie karbonu i ekranowanego ilami mioceniowymi, częściowo uzupełnianego dopływającym metanem z głębszych partii złóż węgla.

4.4.2. Złóża gazu ziemnego w utworach mioceniowych Dębowiec Śląski i Pogórze

Oba złoża zlokalizowane są na południowy wschód od rejonu Zebrzydowice-Kaczyce, pod nasunięciem płaszczowin karpackich (rys. 4.16). Są to złoża konwencjonalnego gazu ziemnego typu strukturalno-warstwowego (KARNKOWSKI, 1993; OBUCHOWICZ, 1963), których eksploatacja rozpoczęła się na

przełomie lat czterdziestych i pięćdziesiątych XX w. Skałą zbiornikową gazu są poziomy piaszczowce badenu dolnego, ścięte przez nasunięte płaszczowiny karpackie stanowiące ekran izolujący (rys. 4.17). Gaz ze złóż jest wysokometanowy o zawartości metanu rzędu 95%.

Złoże Dębowiec Śląski, zlokalizowane w okolicy miejscowości Dębowiec, w powiecie cieszyńskim (rys. 4.16), zostało odkryte w 1945 r. Pierwotne zasoby wydobywalne wynosiły 289,5 mln m³ gazu. Występują trzy poziomy gazonośne w piaszczowcach badeńskich. Obecnie ze złoża wydobywa się ok. 3 mln m³ gazu rocznie, natomiast zasoby wydobywalne gazu w 2010 r. wynosiły 72,6 mln m³, z czego na zasoby przemysłowe przypadało 7,9 mln m³ (CZAPIGO, 2011), zatem złożo jest w znacznym stopniu wyeksploatowane. Z uwagi na długotrwałość wydobywania gazu i stabilność ciśnienia głowicowego nie można wykluczyć możliwości dopływu gazu do poziomów mioceniowych z podłoża, które stanowią między innymi utwory górnokarbońskie z metanonośnymi pokładami węgla (rys. 4.17). Na możliwość częściowego pochodzenia gazu z pokładów węgla karbońskiego podłoża wskazują I. PLUTA i M.J. KOTARBA (2007).



Rys. 4.17. Przekrój przez złożo gazu ziemnego Dębowiec (J. STEMULAK, *vide*: DEPOWSKI, 1987; KARNKOWSKI, 1993, zmodyfikowane):

1 — kreda; 2 — miocen: formacja skawińska, 3 — piaszczowce mioceniowe (badeńskie), 4 — miocen: formacja dębowiecka, 5 — karbon górny: seria paraliczna, 6 — horyzont gazonośny, 7 — otwór wiertniczy

W złożu Pogórz, zlokalizowanym k. Skoczowa w powiecie cieszyńskim (rys. 4.16), gazonośne są dwa poziomy piaskowcowe badenu dolnego. Złoże odkryto w 1954 r. Pierwotne zasoby wydobywalne gazu wynosiły w nim 46,3 mln m³. W połowie lat dziewięćdziesiątych XX w. zaprzestano wydobycia, z powodu spadku ciśnienia gazu na głowicach otworów. W czasie eksploatacji ze złoża ujęto 34,1 mln m³ gazu (KĘDZIOR, 2008c).

Opisane złoża gazu, wraz z udokumentowanym w 2010 r. złożem Kowale (rys. 4.16), o początkowych zasobach wydobywalnych rzędu 100 mln m³ gazu (CZAPIGO, 2011), są jedynymi dotychczas odkrytymi mioceńskimi akumulacjami gazu ziemnego o znaczeniu przemysłowym w polskiej części GZW. Kilka podobnych złóż odkryto po stronie czeskiej. Wszystkie zlokalizowane są w obrębie zachodniej części zapadliska przedkarpackiego, w której wciąż są perspektywy odkrycia kolejnych akumulacji gazu zarówno w miocenie, jak i w podłożu (np.: CZAPIGO, 2011; KĘDZIOR, 2008c; LENK, 1983; TOŁWIŃSKI, *vide*: KARNKOWSKI, 1969). Potwierdzeniem tego mogą być liczne objawy gazowe w otworach wiertniczych oraz udoku-

mentowanie w 2010 r., uznawanego dotąd za bardzo małe, znaczącego złoża gazu ziemnego Kowale czy też odkrycie na początku lat dziewięćdziesiątych XX w. złoża gazu Lachowice-Stryszawa k. Suchej Beskidzkiej, w utworach dewonu (rys. 4.16).

Problemem jest skorelowanie pozycji stratygraficznej mioceńskich złóż z występującymi poziomami gazonośnymi metanu sorbowanego i wolnego w badanych rejonach. Z uwagi na to, że w bezpośrednim podłożu poziomów gazonośnych Dębowca Śląskiego leży formacja dębowiecka, można uznać, że seria piaskowcowo-lupkowa zawierająca akumulacje gazu ziemnego w złożach Dębowiec Śląski i Pogórz znajduje się w obrębie formacji skawińskiej (rys. 4.17). Natomiast formacja skawińska w polach Bzie-Dębina, Zebrzydowice oraz Kaczyce zawiera gazonośny piaskowiec reperowy, którego gazonośność wiązana jest z poziomami gazonośnymi zapadliska przedkarpackiego (np. KRZANOWSKA, 2005). Zatem pozycja stratygraficzna złóż gazu ziemnego Dębowiec Śląski oraz Pogórz może być korelowana z pozycją piaskowca reperowego wymienionych wcześniej rejonów.

5. Analiza porównawcza gazoności serii węglonośnej w przystropowych partiach karbonu w poszczególnych rejonach badawczych oraz dyskusja wyników

W tabeli 5.1 zestawiono najistotniejsze parametry przystropowej strefy metanośnej w poszczególnych częściach badanego obszaru (rejonach badawczych). Wynika z niej, że najkorzystniejszymi parametrami gazoności pokładów w omawianej strefie cechuje się rejon Warszawic-Pawłowic, gdyż zarówno miąższość strefy oraz metanośność średnia i maksymalna pokładów mają największe wartości. Również głębokość strefy (200—500 m) przedstawia się tu korzystnie (tabela 4.1 i 5.1). W rejonie tym omawiana strefa wykazuje ciągły i zwarty charakter. Najbardziej prawdopodobną przyczyną zachowania przystropowej strefy metanośnej jest litologia skał otaczających metanośne pokłady węgla (nieprzepuszczalne iłowce i mułowce serii mułowcowej) oraz skał nadkładu miocenijskiego (iły formacji skawińskiej), których uszczelniający charakter w dużym stopniu mógł zapobiec ucieczce metanu poza pokłady węglowe (rozdział 4.1). Mniej korzystnie gazoność pokładów w przystropowej strefie przejawia się w rejonie Ćwiklic-Dankowic, co może być wynikiem występowania w stropie węglonośnych utworów karbońskich porowatych i przepuszczalnych piaskowców łaziskich krakowskiej serii piaskowcowej, sprzyjających odgazowaniu pokładów (rozdział 4.1). Metan wolny w piaskowcach występuje w ograniczonym zakresie, poza większą akumulacją w rejonie KWK „Silesia”, będącą rezultatem lokalnego podniesienia stropu utworów karbońskich (rozdział 4.4.1.2). Brak miąższych pakietów piaskowcowych w obrębie serii mułowcowej oraz występowanie jedynie ilastej formacji skawińskiej w nadkładzie miocenijskim nie sprzyjają gromadzeniu się metanu wolnego w większych ilościach.

Rejony Bzia-Dębiny i Gołkowic oraz Zebrzydowic-Kaczyc, zlokalizowane na południe od dyslokacji Bzie-Czechowice, charakteryzuje o wiele głębsze położenie przystropowych akumulacji metanu, co jest wynikiem znacznego pograżenia stropu węglonośnych utworów karbońskich zgodnie ze zrzutem dyslokacji Bzie-Czechowice. Miąższość przystropowej strefy gazonośnej jest tu mniejsza o połowę w stosunku do obszarów rozciągających się na północ od dyslokacji Bzie-Czechowice, z wyraźną tendencją malejącą w kierunku południowym — do ok. 35 m w rejonie Zebrzydowic-Kaczyc (rys. 4.2, tabela 5.1). Po południowej stronie dyslokacji Bzie-Czechowice strefy metanośne przystropowa oraz głęboka są wyraźnie od siebie oddzielone interwałem obniżonych metanośności pokładów. Liczba otworów z połączonymi interwałami metanośnymi jest tu niewielka, natomiast w rejonie Zebrzydowic-Kaczyc interwały te w ogóle się z sobą nie łączą.

Mniejszej miąższości przystropowej strefy metanośnej oraz na ogół mniejszej metanośności pokładów w rejonach zlokalizowanych na południe od strefy uskokowej Bzie-Czechowice towarzyszą znaczne objawy gazu wolnego w otworach, co związane jest z pojawieniem się przepuszczalnych utworów na granicy karbonu i miocenu oraz w spągu miocenu (np. formacji kłodnickiej oraz dębowieckiej, głównie w obniżeniach stropu karbonu), które są zbiornikami wody i wolnego gazu. Miąższy pakiet miocenijskich iłów formacji skawińskiej stanowi ekran izolujący dla akumulacji gazu wolnego.

Jak z tego wynika, regionalna dyslokacja Bzie-Czechowice wyraźnie rozdziela obszary o różnej

Tabela 5.1. Parametry przystropowej strefy metanonośnej w badanych rejonach

Lp.	Rejon	Głębokość [m]	Przeciętna miąższość [m]	Metanonośność [m ³ /t csw]		Utwory budujące strop karbonu	Objawy metanu wolnego
				średnia	maksymalna		
1.	Warszowice-Pawłowice	200—500	200	6,71	20,20	iłowce i mułowce, we wschodniej części piaskowce łaziskie	sporadyczne
2.	Ćwiklice-Dankowice	200—500	200*	3,90	11,60	piaskowce łaziskie, w południowej części iłowce i mułowce	
3.	Bzie-Dębina i Gołkowice	500—800	100	6,50	13,60	iłowce i mułowce, lokalnie piaskowce	częste
4.	Zebrzydowice-Kaczyce	500—800	35*	6,00	8,60		

* Przystropowa strefa metanonośna wykształcona w postaci izolowanych płatów.

miąższości i charakterze przystropowej strefy metanonośnej. Różnice te przedstawia tabela 5.2.

Różnice zaprezentowane w tabeli 5.2 pozwalają przypisać strefie uskokowej Bzie-Czechowice rolę decydującą w rozkładzie i wykształceniu przystropowych akumulacji metanu wolnego i sorbowanego w badanych obszarach, co jest potwierdzeniem wyników zamieszczonych we wcześniejszych pracach (np.: KĘDZIOR, 2000, 2002, 2009b; KOTARBA *et al.*, 1995b; TWARDOWSKI, 1997a).

Przyczyn tak widocznego zróżnicowania wykształcenia (miąższości oraz form występowania metanu) przystropowej strefy metanonośnej w rejonach położonych na północ i południe od dyslokacji Bzie-Czechowice oraz jej relacji do strefy podstawowej (głębokiej) należy doszukiwać się zarówno w odmiennym wykształceniu nadkładu mioceń-

skiego po obu stronach tej dyslokacji (tabela 5.3), jak i w historii powstawania współczesnych nagromadzeń metanu w badanych obszarach.

Zagadnienie zróżnicowania wykształcenia osadów mioceńskich po obu stronach dyslokacji Bzie-Czechowice pojawia się w opracowaniach opartych na badaniach mikrofaunistycznych otwornic (np. ALEXANDROWICZ, 1963, 1964). Wyniki tych badań wskazują na występowanie w osadach dolnego badenu (opolu) facji szlirowej (iłów twardestycznych i zwartych z wkładkami piasków pylastych) z odmiennymi zespołami otwornic. Granica zasięgu tych zespołów jest podobna do przebiegu dyslokacji Bzie-Czechowice. Analiza paleogeograficzna miocenu w GZW (ALEXANDROWICZ, 1963) wykazała, że obszar znajdujący się na południe od linii Pszczyna — Jastrzębie — Racibórz na po-

Tabela 5.2. Porównanie wykształcenia przystropowej strefy metanonośnej po obu stronach dyslokacji Bzie-Czechowice

Rejony zlokalizowane na północ od dyslokacji Bzie-Czechowice (skrzydło wiszące)	Rejony zlokalizowane na południe od dyslokacji Bzie-Czechowice (skrzydło zrzucane)
1. Przystropowa strefa wykazuje ciągi i zwarty charakter, jedynie w obrębie piaskowców łaziskich występuje w postaci izolowanych płatów	1. Charakter strefy jest zróżnicowany — od zwanego na wschodzie pola Bzie-Dębina do rozczłonkowanego w polu Kaczyce
2. Występuje na głębokości 200—500 m	2. Strefa występuje głęboko, poniżej 500 m
3. Na znacznym obszarze mało wyraźnie oddzielona interwałem obniżonych metanonośności od strefy podstawowej lub łączy się z nią	3. Jest wyraźnie oddzielona od podstawowej strefy metanonośnej interwałem obniżonych ilości metanu; połączenia obu stref są sporadyczne
4. Miąższość przystropowej strefy oscyluje wokół 200 m	4. Miąższość strefy jest niewielka i oscyluje wokół 100 m oraz maleje w kierunku południowym do ok. 30 m
5. Metan wolny w piaskowcach występuje w ograniczonym zakresie	5. Metan wolny w piaskowcach karbońskich i mioceńskich występuje w znacznych ilościach

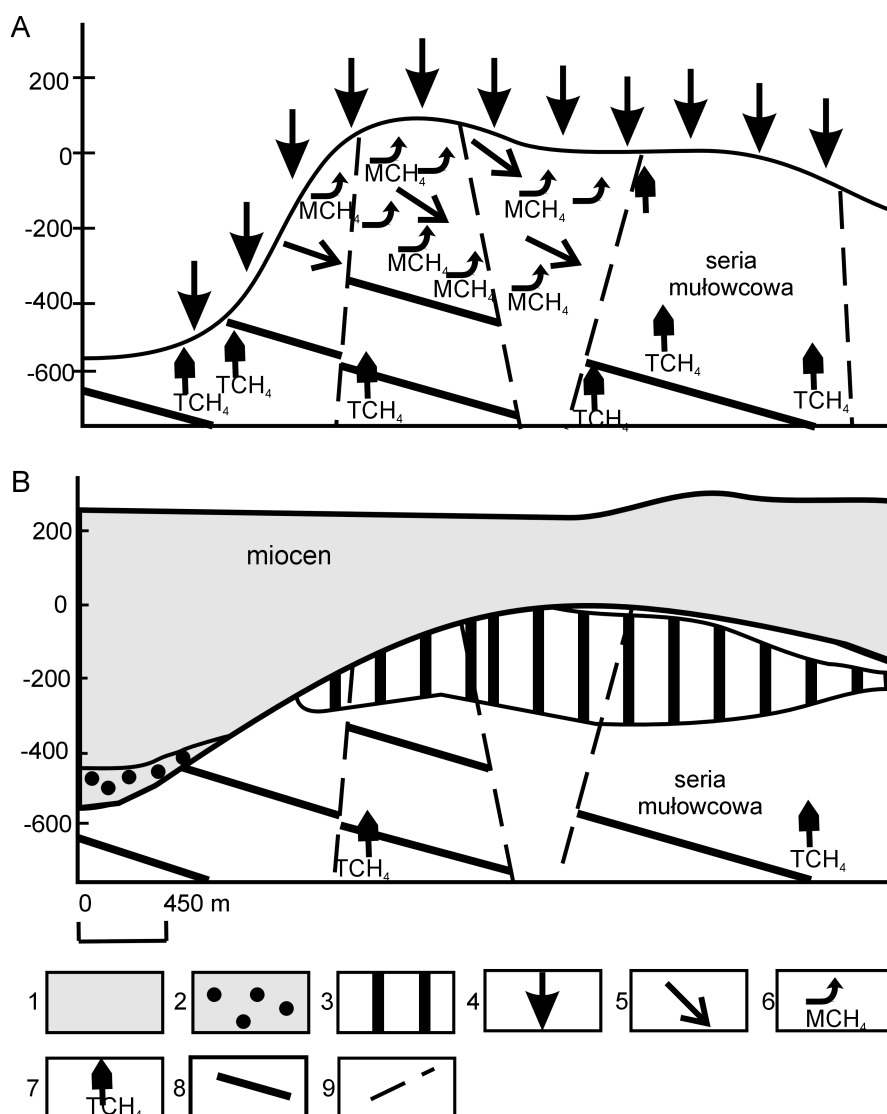
Tabela 5.3. Stratygrafia nadkładu mioceńskiego w części północnej i południowej badanego obszaru rozdzielonych dyslokacją Bzie-Czechowice (BUŁA, JURA, 1983; GARECKA *et al.*, 1996; STUPNICKA, 1989)

Część północna	Część południowa		
	wg Z. BUŁY i D. JURY (1983)	wg M. GARECKIEJ <i>et al.</i> (1996)	
Formacja skawińska (dolny baden, piętro opolskie)	formacja skawińska (dolny baden, piętro opolskie)	formacja skawińska (dolny baden, piętro opolskie)	
	formacja dębowiecka (dolny baden, piętro opolskie)	formacja dębowiecka (baden/karpat)	
	ogniwo zamarskie (dolny baden)		
	formacja zebrzydowicka (karpat)		
	formacja kłodnicka		
		formacja z Suchoj (ottang)	

czątku wczesnego badenu był wyniesionym i urozmaiconym morfologicznie lądem, o czym świadczy brak osadów najniższego dolnego badenu (dolnego opolu), w odróżnieniu od obszaru leżącego na północ od wspomnianej linii (rejonu Bytomia, Kłodnicy i Chełmu Wielkiego), wówczas obniżonego i okresowo zalewanego przez morze, na co wskazuje obecność osadów lądowych, słodkowodnych i brakicznych dolnego opolu. Transgresja morska w obszarze położonym na południe od linii Pszczyna — Jastrzębie — Racibórz dokonała się pod koniec wczesnego badenu (w późnym opolu).

Badania izotopowe wód i gazów obecnych w przystropowej strefie metanonośnej w obszarze byłej KWK „Morcinek” przeprowadzone przez M.J. KOTARBĘ i I. PLUTĘ (2009) wykazały wzbogacenie metanu w izotop lekki węgla ^{12}C . Stosunek izotopowy $\delta^{13}\text{C}$ (CH_4) waha się wokół -70‰ na głębokości 200 m poniżej stropu węglonośnych

utworów karbońskich i przeważa w metanie zakułowanym w pokładach węgla zalegających przy stropie utworów karbonu. W miarę wzrostu głębokości zwiększa się udział izotopu ciężkiego ^{13}C i na głębokości poniżej 650 m dominują gazy termogeniczne (KOTARBA, PLUTA, 2009). Zgodnie z wymienionymi badaniami, jest możliwe, że metan występujący w przystropowej strefie metanonośnej mógł zostać wygenerowany przez bakterie metanowe w paleogenie oraz neogenie (na początku miocenu), czyli jego geneza byłaby podobna, jak w przypadku konwencjonalnego gazu ziemnego w złożach zapadliska przedkarpacciego (np. KOTARBA, 1999). Zakładając, że badany obszar był urozmaiconym morfologicznie lądem w paleogenie oraz na początku miocenu, można przypuszczać, że proces wnikanía do górotworu wód meteorycznych z bakteriami metanowymi najsilniej mógł się zaznaczyć w obrębie południowego, stromego skłonu



Rys. 5.1. Geneza metanu mikrobiального w obszarze badań (KOTARBA, PLUTA, 2009):

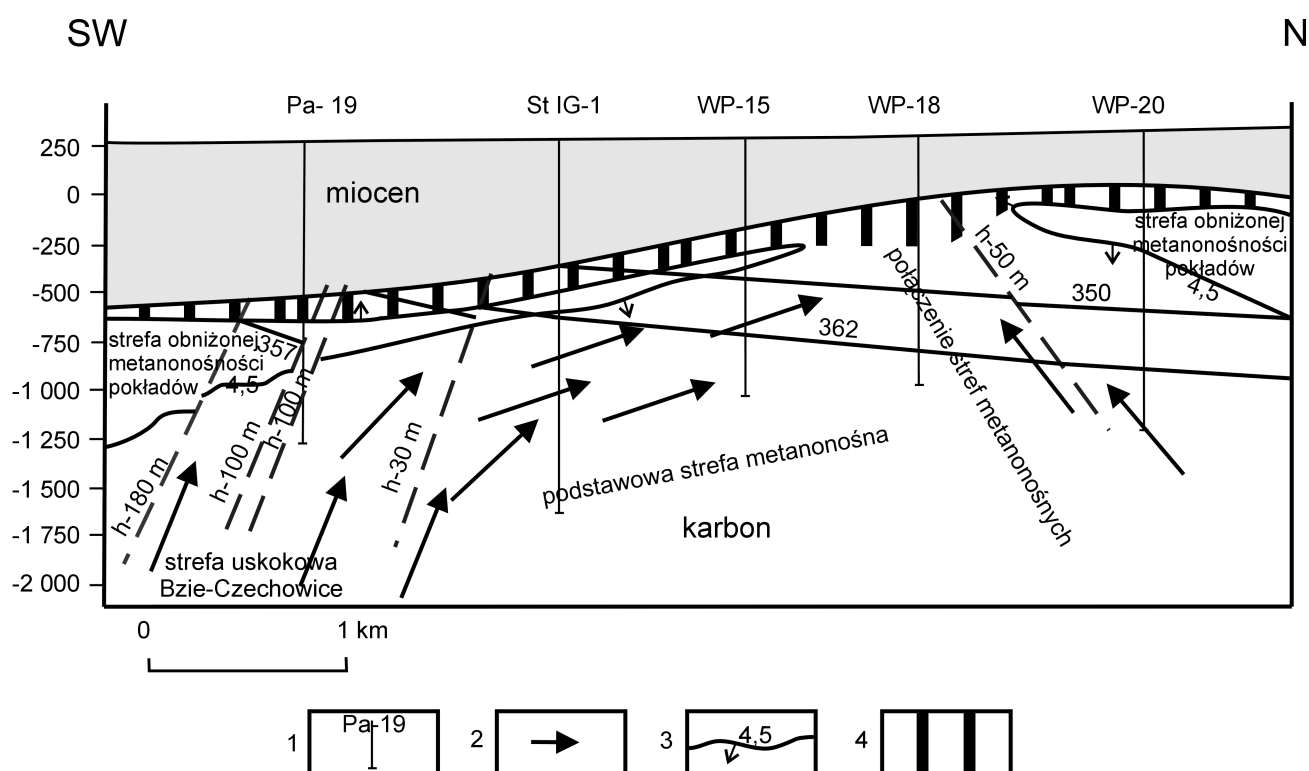
A — przed osadzeniem się utworów miocennych, B — współcześnie; 1 — utwory miocenu (formacja skawińska), 2 — formacja dębowańska, 3 — przystropowa strefa metanonośna, 4 — kierunek wnikanía wód opadowych, 5 — kierunek infiltracji wód opadowych, 6 — kierunek migracji metanu mikrobiálního, 7 — kierunek migracji metanu termogenicznego, 8 — pokład węgla, 9 — uskók

grzbietu Pawłowic oraz lokalnych dolin, z powodu wzmożonego spływu wód opadowych po stokach i zarazem ich infiltracji (rys. 5.1). Wraz z wodami do górotworu przedostały się najprawdopodobniej również bakterie metanowe oraz ich odżywki w postaci prostych związków organicznych, powodujące redukcję mikrobialną dwutlenku węgla i w konsekwencji wytworzenie metanu mikrobialnego (KOTARBA, PLUTA, 2009; PLUTA, KOTARBA, 2007). Po osadzeniu się nieprzepuszczalnego pakietu iłów mioceńskich we wczesnym badenie (formacja skawińska) nastąpiły dogodne warunki do akumulacji wytworzonego przez bakterie metanu na zasadzie pułapki stratygraficznej wtórnej (LEVORSEN, 1972). Współczesnym echem tamtych procesów może być zaobserwowana podwyższona metanonośność pokładów węgla w otworach wiertniczych zlokalizowanych w obrębie stromego skłonu stropu karbonu, towarzyszącego dyslokacji Bzie-Czechowice (rozdział 4.1).

Rejony zlokalizowane na północ od uskoku Bzie-Czechowice (Warszowice-Pawłowice oraz Ćwiklice-Dankowice) charakteryzuje stosunkowo gęsta sieć uskokowa. Badania przeprowadzane nad drożnością systemów uskokowych dla gazów w kopalniach węgla kamiennego (np.: KĘDZIOR, 2000, 2002, 2005; STANIEK, 1986; TARNOWSKI, 1989) potwierdziły ich zdolność do przewodzenia mediów ciekłych i gazowych. Także w rejonie Warszowic-Pawłowic w pobliżu uskoków notowano zarów-

no podwyższone wartości metanonośności pokładów węgla, jak i zwiększoną miąższość przystropowej strefy gazonośnej (zwłaszcza w pobliżu stref uskokowych Bzie-Czechowice oraz jawiszowickiej). W dodatku miejsca przystropowej strefy gazonośnej o podwyższonej metanonośności średniej układają się liniowo, zgodnie z kierunkiem przebiegu głównych dyslokacji, czyli NW-SE (rys. 4.1 i 4.2). Pozwala to stwierdzić, że uskoki występujące po północnej stronie dyslokacji Bzie-Czechowice są drożne i stanowią drogi migracji metanu. Swoistą drogą migracji dla metanu jest na pewnych odcinkach dyslokacja Bzie-Czechowice, wokół której notowano zwiększenie miąższości przystropowych akumulacji metanu oraz metanonośności średniej pokładów (np. w polach Gołkowice, Pawłowice oraz Dankowice; rys. 4.1 i 4.2). Na pozytywną rolę tensyjnych dyslokacji równoleżnikowych w formowaniu się niektórych złóż gazu ziemnego konwencjonalnego zapadliska przedkarpackiego wskazywał P. KARNKOWSKI (1969).

Komunikacja mediów między podstawową strefą metanonośną a strefą przystropową jest zatem możliwa dzięki drożnym uskokom oraz systemom spękań towarzyszącym. Migrujący z głębszych partii metan termogeniczny mógł nasycać płytsze partie węglonośnego karbonu, dobrze uszczelnione pakietami iłowców i mułowców karbońskich oraz iłów mioceńskich formacji skawińskiej (rys. 5.2). W wyniku dopływu metanu termogenicznego z głę-



Rys. 5.2. Rola uskoku Bzie-Czechowice w migracji metanu termogenicznego (KĘDZIOR, 2011; KRZANOWSKA, 2002, zmodyfikowane): 1 — otwór wiertniczy; 2 — przypuszczalny kierunek migracji metanu termogenicznego; 3 — izarytma metanonośności 4,5 m³/t csw, kierunek wzrostu metanonośności wg strzałki; 4 — przystropowa strefa metanonośna. Pozostałe objaśnienia jak do rys. 5.1

szych partii karbonu doszło prawdopodobnie do zmieszania go z autochtonicznym metanem mikrobialnym i obecnie w przystropowej partii karbonu możemy mieć do czynienia z mieszaniną dopływającego termogenicznego oraz miejscowego metanu mikrobialnego (por. KĘDZIOR, 2011). Kolejnym dowodem na migracyjne pochodzenie części gazów w przystropowej strefie jest pozytywna korelacja między lokalizacją obszarów o wysokim uwęgleniu pokładów z wystąpieniami gazów w stropowej, zwietrzałej partii karbonu w czeskiej części GZW (HEMZA *et al.*, 2009; KANDARACHEVOVÁ *et al.*, 2009) oraz w części polskiej, w rejonie Jastrzębia (BOROWSKI, 1968; KĘDZIOR, 2009b).

Odmienne sytuacja przedstawia się po południowej stronie dyslokacji Bzie-Czechowice. Badania i obserwacje dotyczące akumulacji gazu wolnego w obszarze złoża metanu Kaczyce 1 (HOJKA, 2006) wykazały, że akumulacje te występują bardzo nieregularnie. Cały obszar pocięty jest systemami uskokiów na bloki o różnym stopniu nasycenia gazem. Uskoki w bardzo wyraźny sposób rozgraniczają obszary o licznych objawach gazu wolnego w otworach (partie złoża Kaczyce C i A) od obszarów o słabych objawach gazowych (partia B) lub niemal o ich braku (partia N) (rys. 4.6). Można więc wnioskować, że występujące w rejonie Kaczyc strefy uskokowe są raczej szczelne i nie wykazują tendencji przewodzenia mediów gazowych. Zjawiskiem wspierającym przytoczone stwierdzenie może być

fakt wyraźnego rozgraniczenia strefy metanonośnej przystropowej od głębokiej (podstawowej) w obszarze Kaczyc i Zebrzydowic oraz znaczne ich oddalenie w profilu pionowym, sięgające 500 m. Może to wskazywać na ograniczoną zarówno migrację metanu termogenicznego z głębszych partii karbonu, jak i jego mieszanie się z metanem mikrobialnym występującym w przystropowej partii. Wspomniane badania izotopowe wód i gazów w przystropowej partii karbonu przeprowadzone przez M.J. KOTARBĘ i I. PLUTĘ (2009) w sposób jasny sugerują mikrobialne pochodzenie metanu przy stropie karbonu w rejonie Kaczyc.

Pionowy rozkład metanonośności pokładów w rejonie Bzia-Dębiny i Gołkowic, ukazujący nieco mniej wyraźne rozdzielanie obu stref metanonośnych, a także ich zbliżenie do ok. 200–300 m w profilu pionowym, może potwierdzać, że w tych rejonach migracja metanu termogenicznego z głębszych partii karbonu była mniej utrudniona, z kolei pojawienie się przystropowych akumulacji metanu wokół uskoku zebrzydowickiego skłaniać może ku założeniu, że uskoki w rejonie Bzie-Dębina, a zatem w pobliżu dyslokacji Bzie-Czechowice, mogą być drożne dla metanu (rys. 4.14).

Coraz większe oddalanie się od siebie stref metanonośnych podstawowej (głębokiej) oraz przystropowej wynika też z faktu obniżania się stropu tej pierwszej w miarę przesuwania się w kierunku południowym (od rejonu Pawłowic po Kaczyce).

Tabela 5.4. Zestawienie wyników badań porowatości efektywnej oraz przepuszczalności piaskowców z otworu Kaczyce 2/07 wykonanych w laboratorium INiG w Krakowie

Lp.	Głębokość pobrania próbki [m]	Opis litologiczny	Stratygrafia*	Gęstość objętościowa [g/cm ³]	Porowatość efektywna [%]	Przepuszczalność [mD]
1.	685,00**	piaskowiec kruchy, rozsypły, różnoziarnisty, obecne okruchy węgla	miocen, formacja dębowiecka	nie badano	nie badano	684
2.	689,00**			nie badano	nie badano	634
3.	692,00**			nie badano	nie badano	688
4.	726,00			2,75	21,07	1107
5.	727,00	piaskowiec gruboziarnisty, zlepieńcowaty o spoiwie ilastym, liczne okruchy skał karbońskich		2,64	11,99	0,96
6.	751,00	mułowiec szary, spękany	miocen, formacja kłodnicka	2,66	6,26	3,98
7.	752,00	piaskowiec drobnoziarnisty o spoiwie ilastym		2,64	8,91	0,73
8.	760,00	piaskowiec gruboziarnisty, zlepieńcowaty z obecnymi okruchami skał karbońskich o wielkości ok. 1–2 cm		2,67	11,65	1,72
9.	918,00	piaskowiec grubo- i średnioziarnisty, zbity, o spoiwie ilastym	karbon, warstwy rudzkie	2,71	4,64	0,92
10.	943,00			2,65	4,28	0,55
11.	951,00			2,72	2,21	0,10
12.	991,00			2,70	4,20	0,40

* Wg M. HOJKI (2008).

** Oznaczono jedynie przepuszczalność; dane archiwalne (Raport, 2007).

Obniżanie się stropu pokładów metanowych podstawowej (głębokiej) strefy metanonośnej jest zgodne ze zrzutem głównych uskoku GZW na południe (KĘDZIOR, 2000; KOTAS, 1994; KWARCINIŃSKI, HADRO, 2008; TARNOWSKI, 1973, 1989; rys. 4.15).

Obecność metanu wolnego w piaskowcach w obszarze położonym na południe od uskoku Bzie-Czechowice uwarunkowane jest przede wszystkim obecnością pstrych utworów zwietrzeli-ny karbońskiej formacji kłodnickiej oraz zlepieńców i piaskowców formacji dębowieckiej. Utwory te charakteryzuje bowiem większa porowatość efektywna i przepuszczalność w stosunku do głębiej występujących piaskowców karbońskich warstw rudzkich i siódłowych (tabela 5.4, rys. 5.3).

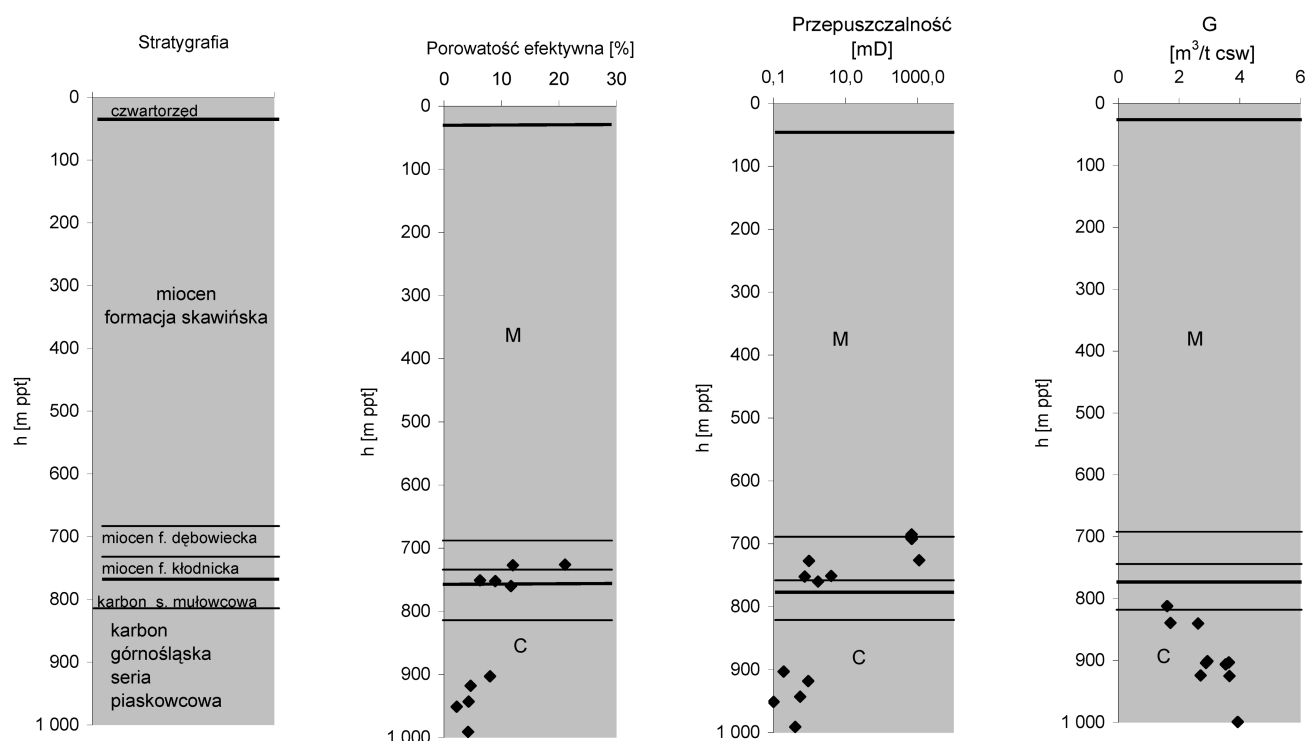
Pobrane z otworu Kaczyce 2/07 osady leżące na granicy karbonu i miocenu obrazują fotografie (fot. 5.1).

Znacznie wyższa porowatość i przepuszczalność utworów na granicy karbonu i miocenu po południowej stronie uskoku Bzie-Czechowice prawdopodobnie sprzyjała odgazowaniu pokładów węgla, zalegających przy stropie utworów karbońskich, i migracji metanu do atmosfery, a po osadzeniu iłów miocennych — wzdłuż powierzchni stropowej kompleksu karbońskiego (KĘDZIOR, 2009d). Z uwagi na to, że migracja metanu odbywa się w kierunku niższego ciśnienia, czyli z dołu ku górze, można przypuszczać, że docelowymi miejscami przemieszczania się tego gazu były obszary

wyniesione, jak wspomniane już paleogrzebity lub skłony powierzchni karbońskiej. Zaobserwowana w niektórych otworach większa metanonośność pokładów przy stropie utworów karbonu w obrębie tych form morfologicznych (np. paleogrzebity Kaczyce czy Pawłowice) może być częściowym potwierdzeniem przytoczonej tezy.

Współcześnie akumulacja metanu nie jest ograniczona jedynie do pokładów węgla występujących przy stropie utworów karbońskich. Metan obecny jest także w zwietrzelinie karbońskiej oraz w porowatych i przepuszczalnych piaskowcach i zlepieńcach formacji dębowieckiej, jak również w miocennym piaskowcu „reperowym”. Obecność metanu wolnego w osadach miocennych skłania do sformułowania wniosku, że omawiana w niniejszym opracowaniu przystropowa strefa metanonośna, w której dominuje metan sorbowany w pokładach węgla, jest częścią większego systemu gazonośnego, obejmującego karbońskie metanonośne pokłady węgla i skały płonne oraz piaskowce i zlepienie zalegające na granicy karbonu i miocenu, a także w miocenie (rozdział 4.3 i 4.4.). Za rozważaniami takimi może przemawiać podobna geneza metanu w przystropowej strefie z gazem ziemnym w zapadlisku przedkarpackim oraz obecność miocennych złóż gazu konwencjonalnego w bliskim sąsiedztwie badanego obszaru, czyli Dębowiec Śląski, Kowale oraz Pogórz.

System gazonośny, o którym mowa, obejmowałby następujące kompleksy gazonośne (rys. 5.4):



Rys. 5.3. Zmienność parametrów skał zbiornikowych oraz metanonośności pokładów w otworze Kaczyce 2/07
G — metanonośność pokładów węgla (źródło danych: HOJKA, 2008)



Fot. 5.1. Utwory na granicy karbonu i miocenu w otworze Kaczyce 2/07 na głębokości 740—750 m (fot. S. KĘDZIOR)

- Komplex 1: metan sorbowany w pokładach węgla oraz wolny podstawowej (głębokiej) strefy metanonośnej w karbonie górnym.
- Komplex 2: przystropowe akumulacje metanu sorbowanego i wolnego w karbonie oraz akumulacje mioceńskie, razem obejmujące trzy mniejsze kompleksy, mogące być w łączności hydrodynamicznej:
 - kompleks 2a: metan sorbowany w pokładach węgla oraz wolny przystropowej strefy metanonośnej karbonu górnego,
 - kompleks 2b: metan wolny zakumulowany w zwietrzelinie karbońskiej, na granicy karbonu i miocenu (formacja kłodnicka),
 - kompleks 2c: gaz wolny występujący w formacji dębowieckiej miocenu, współwystępujący z wodą (w obszarach położonych na południe od uskoku Bzie-Czechowice).
- Komplex 3: gaz wolny nagromadzony w mioceńskim piaskowcu „reperowym” oraz w piaskowcach mioceńskich, stanowiący przemysłowe akumulacje złóż Dębowiec Śląski, Kowale oraz Pogórz (formacja skawińska w obszarach położonych na południe od uskoku Bzie-Czechowice).

W części badanego obszaru, leżącej na północ od uskoku Bzie-Czechowice oraz częściowo w polach Bzie-Dębina i Gólkowice, obecne są jedynie dwa kompleksy, tzn. kompleks 1 i 2a, będące po części w łączności za pośrednictwem uskoków, zatem w miarę przesuwania się na północ niniejszy system gazonośny ulega pewnym modyfikacjom,

KREDA I PALEOGEN (FLISZ)		nasunięte jednostki karpackie podśląska i śląska	
		akumulacje gazu w złożach konwencjonalnych oraz w piaskowcu reperowym	kompleks 3
		formacja skawińska	
MIOCEN		formacja dębowiecka nasycona wodą i gazem	2c
		akumulacje gazu wolnego w utworach formacji kłodnickiej	2b
			kompleks 2
KARBON		akumulacje metanu sorbowanego i wolnego w przystropowej strefie metanonośnej	2a
		interwał obniżonej metanonośności pokładów	
		podstawowa strefa metanonośna	kompleks 1

Rys. 5.4. Kompleksy gazonośne występujące w rejonach po południowej stronie uskoku Bzie-Czechowice

będącym wynikiem zróżnicowanej budowy geologicznej badanego obszaru.

Zaprezentowany system gazonośny (rys. 4.1 i 4.2) obejmuje wszystkie formy metanu występującego w formacjach węglonośnych (sorbowany, wolny oraz rozpuszczony w solankach), a także akumulacje gazu konwencjonalnego i w konsekwencji rysuje perspektywę odkrycia i udokumentowania kolejnych złóż konwencjonalnego gazu

ziemnego (por. LENK, 1983; TOŁWIŃSKI, *vide*: KARNKOWSKI, 1969) oraz metanu pokładów węgla w badanym obszarze. Doświadczenia międzynarodowe pokazują, że największą produktywnością MPW cechują się te zagłębia węglowe, w których oprócz metanu wydobywanego z pokładów węgla produkuje się także gaz ze skał płonnych (piaskowców, np. zagłębie San Juan w USA czy Bowen w Australii).

6. Analiza parametrów fizykochemicznych i zbiornikowych węgla oraz warunki hydrogeologiczne

Węgiel kamienny stanowi bardzo dobry ośrodek sorpcji gazu. Decyduje o tym bardzo duża powierzchnia właściwa substancji węglowej, szacowana na ok. 2—300 m²/g (KOZŁOWSKI, GRĘBSKI, 1982) oraz skomplikowany system porowatości, określany mianem podwójnej porowatości (np. SIEMEK *et al.*, 1992; TWARDOWSKI, 1999), a także widoczny podział substancji węglowej na tzw. matrycę węglową oraz systemy szczelin, opisany przez J.E. WARRENA i P.J. ROOTE'A (1963). Wymienione właściwości sprawiają, że węgiel może zaadsorbować znaczne ilości gazu, mogące być przedmiotem gospodarczego zastosowania.

Pokład węgla kamiennego, jako warstwa o szczególnych właściwościach zbiornikowych dla gazu, może być traktowany jako samodzielny kolektor metanu o cechach odmiennych od cech zbiorników gazu konwencjonalnego. Różnica ta wyrażana jest przede wszystkim bardzo małą porowatością oraz przepuszczalnością substancji węglowej. Zatem do parametrów zbiornikowych pokładu węgla, wymagających szczególnego omówienia, zaliczyć trzeba jego zdolności sorpcyjne, porowatość, przepuszczalność oraz nasycenie metanem. Właściwości te w dużym stopniu decydują o powodzeniu otworowej eksploatacji metanu z pokładu węgla (np.: KWARCIŃSKI, HADRO, 2008; LAUBACH *et al.*, 1998; NIEĆ, 1993; SCOTT, 2002). Nie bez znaczenia pozostaje także sposób rozprzestrzenienia pokładów węgla, tzn.: regularność występowania, przestrzenna zmienność miąższości, zaburzenia tektoniczne, zmienność parametrów fizykochemicznych itp. Cechy te mogą okazać się kluczowe w przypadku projektowania sposobu wierceń, np. wierceń kierunkowych, czy zabiegów szczelinowania.

Warunki hydrogeologiczne są również istotne z uwagi na to, że pewną część uzyskiwanych

w trakcie otworowej eksploatacji mediów stanowi woda. Jej obecność wpływa zarówno na postęp eksploatacji MPW, jak i na kwestie środowiskowe, ze względu na konieczność utylizacji zasolonych wód.

Przystopowa strefa gazonośna w obszarze badań umiejscowiona jest głównie w obrębie pokładów należących do serii mułowcowej (warstw orzeskich i załęskich) oraz krakowskiej serii piaszczowcowej (warstw łaziskich), zatem charakterystyka parametrów zbiornikowych, zawarta w kolejnych podrozdziałach, dotyczyć będzie pokładów tych serii. W celach porównawczych charakterystykę tę rozszerzono o pokłady pozostałych serii górnego karbonu.

Ważną cechą pokładów węgla, predestynującą je do eksploatacji otworowej metanu, jest głębokość występowania. W GZW obecnie bierze się pod uwagę następujące graniczne głębokości eksploatacji MPW (rozdział 1.1):

- głębokość, do której udokumentowano kopalinę główną (węgiel kamienny) w przypadku metanu jako kopaliny towarzyszącej; zgodnie z obowiązującymi kryteriami bilansowości węgla kamiennego, wynosi ona 1 000 m,
- głębokość 1 500 m w przypadku metanu jako kopaliny głównej.

W większości zagłębi węglowych Stanów Zjednoczonych, w których od wielu lat wydobywa się MPW na skalę przemysłową, wydobywanie metanu, niezależne od eksploatacji węgla, prowadzi się na ogół z pokładów występujących na głębokości do 800 m (np. KĘDZIOR *et al.*, 2007; PASHIN, 2010). W kontekście dotychczasowych niepowodzeń eksploatacji przemysłowej metanu z pól dziewiczych w GZW, prowadzonej próbnie z głębokości poniżej 1 000 m, zdecydowano się na przyjęcie

granicznej głębokości eksploatacji 800 m, na wzór amerykański. Zagadnienie to zostanie rozwinięte w rozdziale 7 niniejszej pracy. Stąd analizę parametrów pokładów węgla pod kątem ich przydatności do pozyskania metanu ograniczono do rejonów leżących na północ od dyslokacji Bzie-Czechowice, gdyż położenie pokładów węgla w przystopowym interwale metanonośnym mieści się w przytoczonym wcześniej przedziale głębokościowym. Rejony zlokalizowane na południe od wspomnianej dyslokacji charakteryzują się zbyt głębokim występowaniem pokładów (zob. rozdział 5).

6.1. Charakterystyka występowania i miąższości pokładów węgla

Pokłady węgla mieszczące się w interwale przystopowym w rejonie Warszawic-Pawłowic należą do kompleksu serii mułowcowej (górną część warstw załęskich) i według dotychczasowego rozpoznania (MANDRELA, PEKAŁA, 2002; KRZANOWSKA, 2002), mają na ogół zmienną miąższość, sporadycznie osiagającą 2 m. Przeciętna miąższość pokładów węgla liczy nieco ponad 1 m, maksymalną miąższość, wynoszącą 3,44 m, zanotowano w pokładzie 330/2 w rejonie Pawłowic (tabela 6.1).

Tabela 6.1. Zestawienie miąższości oraz wybranych parametrów jakości pokładów węgla w rejonie Warszawic-Pawłowic (na podstawie danych archiwalnych MANDRELA, PEKAŁA, 2002; KRZANOWSKA, 2002)

Pokład	Seria	Pole	Miąższość [m]			Zawartość popiołu [%]	Zawartość siarki [%]	Wartość opałowa [MJ/m ³]	Gęstość objętościowa [g/cm ³]	Typ węgla	Wskaźnik R	Metanonośność [m ³ /t csw]
			minimalna	maksymalna	średnia							
328/1	SM	PA	0,60	2,10	1,20	15,43	0,59	26,0	1,37	32,1	0,73	5,8—8,0
330/1	SM	WP	0,30	2,95	1,13	17,65	1,07	24,6	1,43	31,1-34,2	0,57	1,5—5,9
330/1	SM	PA	0,60	1,90	1,10	23,01	0,67	23,3	1,39	31,1-31,2	0,53	4,0—9,0
330/2	SM	PA	0,60	3,44	1,27	18,67	0,74	25,5	1,38	32,1-33	0,42	4,2—12,7
331/2	SM	PA	0,60	2,00	1,26	18,63	0,58	25,9	1,38	32,1-32,2	0,74	2,8—3,4
333/1	SM	PA	0,60	1,75	1,25	17,13	0,59	25,8	1,37	32,1-32,2	0,69	0,7—3,1
333/3	SM	PA	0,60	1,60	1,00	17,78	0,56	25,5	1,35	32,1-33	0,70	0,6—4,5
334/1	SM	PA	0,60	2,00	1,14	21,34	0,58	24,2	1,36	32,1-32,2	0,56	2,0—18,3
336/1	SM	WP	0,30	1,82	0,98	19,99	0,59	25,7	1,44	32,2-34,2	0,27	0,03—9,4
338/1	SM	WP	0,20	2,55	0,87	16,67	0,64	27,0	1,38	33-34,2	0,36	0,07—7,7
338/1	SM	PA	0,60	1,80	1,21	15,22	0,68	26,8	1,34	32,1-34,1	0,91	0,6—10,1
339	SM	WP	0,00	1,80	1,00	16,73	0,66	26,6	1,38	33-34,2	0,25	1,7—8,5
340/1	SM	WP	0,00	1,90	1,05	19,09	0,63	25,7	1,42	33-34,2	0,38	3,0—14,0
340/1	SM	PA	0,60	1,54	0,99	19,18	0,61	25,3	1,31	32,1-34,1	0,49	2,1—6,7
340/2	SM	WP	0,40	2,22	1,45	19,81	0,72	25,5	1,42	33-34,2	0,75	0,1—17,8
345/1	SM	WP	0,00	1,90	0,93	16,16	0,57	27,3	1,33	33-34,3	0,37	9,6—10,1
346/1	SM	WP	0,30	1,80	1,06	15,36	0,54	27,7	1,39	34,2	0,46	3,6—7,2
346/1	SM	PA	0,60	2,00	1,00	18,40	0,64	26,1	1,35	32,2-34,1	0,31	0,4—6,6
347/1	SM	WP	0,00	1,70	1,07	22,12	0,51	25,0	1,40	34,2-35,1	0,43	1,1—11,6
348/1	SM	PA	0,60	3,10	1,50	18,27	0,53	27,0	1,37	23,2-34,2	0,85	0,8—14,0
348/2	SM	PA	0,60	1,85	1,04	17,20	0,50	26,7	1,35	23,2-34,2	0,66	0,8—8,5
349/1	SM	PA	0,60	1,53	1,05	21,06	0,68	25,7	1,40	34,1-34,2	0,60	2,1—4,0
349/2	SM	PA	0,60	1,70	1,04	16,88	0,64	27,2	1,36	32,1-34,2	0,45	0,9—8,0
349/4	SM	PA	0,60	1,62	1,02	21,58	0,60	25,6	1,41	32,1-35,1	0,61	2,5—6,8
350/1	SM	WP	0,30	1,70	1,00	15,24	0,57	27,5	1,39	34,2-35,1	0,38	1,0—11,5
350/1	SM	PA	0,60	1,50	0,95	17,37	0,61	27,0	1,39	32,1-34,2	0,38	3,8—10,5
355/1	SM	WP	0,00	2,00	1,31	19,30	0,74	26,9	1,40	34,2-35,1	0,65	12,8
356/1	SM	WP	0,40	2,50	1,16	16,47	0,63	27,9	1,39	33-35,1	0,69	7,6—15,5
357/1	SM	WP	0,60	2,30	1,50	15,52	0,57	28,4	1,35	34,1-35,1	0,89	6,2—7,7
358/1-2	SM	PA	0,6	1,61	1,13	18,53	0,58	27,1	1,39	34,1-35,1	0,45	1,3—9,0
359/1	SM	PA	0,6	2,00	1,13	16,01	0,58	28,6	1,35	34,2-35,1	0,55	2,9—5,2
361	SM	PA	0,6	1,93	1,47	14,18	0,59	29,2	1,37	34,2-35,1	0,66	2,8—7,6
362/1	SM	PA	0,6	1,50	1,31	13,97	0,51	29,2	1,35	34,2-35,1	0,44	2,4—7,7

Objaśnienia: PA — pole Pawłowice, WP — pole Warszawice-Pawłowice, SM — seria mułowcowa.

Pokłady lokalnie zawierają przerosty o grubości od kilku do kilkudziesięciu centymetrów, które powodują ich rozczepienia. Do najbardziej stałych pokładów należą: 328/1, 330/2, 340/2, 348/1, 357/1 i 362/1. Ze względu na trudność w rozpoznawaniu poziomów korelacyjnych litologicznych i paleontologicznych identyfikacja pokładów warstw załęskich nie zawsze jest możliwa (MANDRELA, PEKAŁA, 2002). W obszarze Pawłowic stwierdzono jedynie poziomy faunistyczne w sąsiedztwie pokładów 402, 404 i 407.

W rejonach Ćwiklic oraz Dankowic pokłady węgla mieszczące się w przystropowym interwale należą przeważnie do krakowskiej serii piaskowcowej (warstw łaziskich), w stosunku do pokładów serii mułowcowej są nieco grubsze i bardziej regularnie wykształcone. Miąższość pokładów często przekracza 2 m, przeciętnie wynosi 1,40 m. Miąższość maksymalną, liczącą 3,37 m, stwierdzono w pokładzie 206/6 w rejonie Ćwiklic. Podobnie jak w serii mułowcowej, pokłady zawierają przerosty o grubości od kilku do kilkudziesięciu centymetrów, które powodują rozszczepienia.

Górnośląska seria piaskowcowa, mieszcząca się w głębokim (podstawowym) interwale metanonośnym, została stwierdzona otworowo w południowej części rejonu Dankowic i jest reprezentowana przez pokład 510, którego cechuje zarówno wysoka stałość, jak i wielkość miąższości, średnio 4,29 m (tabela 6.2).

Węgloność serii złożowej jest parametrem obrazującym sumaryczną miąższość pokładów węgla w stosunku do miąższości całej serii złożowej, wyrażanym w procentach. W kontekście niniejszej pracy pod pojęciem „seria złożowa” należy rozumieć interwał przystropowej strefy metanonośnej, wyznaczony zgodnie z przyjętymi kryteriami (rozdział 3.4). Obliczona na podstawie danych z 37 otworów wiertniczych w rejonie Warszawic średnia węgloność dla pokładów węgla o miąższości powyżej 0,6 m wynosi 3,55% i jest zbliżona do wartości uzyskanej przez J. JURECKĘ *et al.* (2008), równej 3,70%, dla pokładów o miąższości większej od 0,5 m.

Parametrem trafnie opisującym rozkład miąższości pokładu jest wskaźnik R , oznaczający stałość występowania pokładu o grubości bilansowej, wyznaczany ze wzoru:

$$R = Fb/Fd, \quad (1)$$

gdzie Fb oznacza powierzchnię obszaru występowania pokładu o miąższości bilansowej (powyżej 0,6 m), a Fd — powierzchnię udokumentowanego obszaru występowania pokładu.

Zestawienie wskaźników R zawierają tabele 6.1 i 6.2. Wynika z nich, że w rejonach Warszawic-Pawłowic wskaźnik R jest mały, przeciętnie wynosi 0,55, co oznacza, że pokłady węgla charakteryzuje mała powierzchnia występowania miąższości powyżej 0,6 m. Żaden pokład nie osiągnął wskaźnika wynoszącego 1. W rejonach Ćwiklic i Dankowic omawiany wskaźnik przedstawia się nieco lepiej i wynosi 0,76 dla pokładów krakowskiej serii piaskowcowej i 0,77 w przypadku pokładów serii mułowcowej, co oznacza, że pokłady te charakteryzują się średnią powierzchnią występowania miąższości powyżej 0,6 m. Spośród nich pokłady 212/2, 214/2, 335 i 405 cechuje wskaźnik R równy 1, tzn. że na całej dokumentowanej powierzchni miały one miąższość większą lub równą 0,6 m. Dla porównania wskaźnik R w przypadku pokładu 510 w rejonie Dankowic wynosi 0,93.

Reasumując, miąższość pokładów węgla rejonów Ćwiklic i Dankowic jest z punktu widzenia otworowej eksploatacji metanu korzystniejsza niż w rejonach Pawłowic i Warszawic-Pawłowic, gdyż miąższość pokładów 0,6 m uznano za minimalną bilansową dotyczącą wydobywania metanu jako kopalin górnictwa (rozdział 1.1). Niestety, korzystniejsza miąższość pokładów węgla w tych rejonach nie pokrywa się całkowicie z wysoką metanonośnością pokładów węgla w obrębie przystropowego interwału metanonośnego (tabela 6.1 i 6.2).

Przyczyn zróżnicowania miąższości pokładów węgla w poszczególnych seriach i rejonach należy dopatrywać się zarówno w genezie utworów węglonośnych, jak i w historii rozwoju zagłębia. Jak wykazują badania (np.: DOKTOR, GRADZIŃSKI, 1985; GRADZIŃSKI *et al.*, 1995; GRADZIŃSKI *et al.*, 2005; RADOMSKI, GRADZIŃSKI, *vide*: KOTAS, 1987; KOTAS, 1995), osady węglonośne serii limnicznej powstały w obrębie rozległych równin aluwialnych. Utwory serii piaskowcowych pochodzą z rzek roztokowych i reprezentują głównie osady korytowe. Seria mułowcowa zawiera przeważnie pozakorytowe osady rzek meandrujących. Zdaniem I. LIPIARSKIEGO (2007) i L. THOMASA (2002), większa miąższość pokładów węgla bądź ich łączenie się jest efektem dostosowania, w długim interwale czasu, tempa subsydencji do tempa nawarstwiania materii fitogenicznej. Zjawisko to mogło zachodzić w rejonie Ćwiklic i Dankowic. Cieńsze pokłady węgla z przerostami występujące w rejonie Warszawic-Pawłowic wskazują, że tu sedimentacja na obszarze torfowisk mogła być częściej przerywana depozycją materiału okrucowego (por. LIPIARSKI, 2007). Warto też zwrócić uwagę na fakt, że geotektoniczne warunki powstawania GZW były zmienne — od właściwych dla zapadliska przedgórskiego na północnym zachodzie do wykazujących cechy za-

Tabela 6.2. Zestawienie miąższości oraz wybranych parametrów jakości pokładów węgla w rejonie Ćwiklic i Dankowic (na podstawie danych archiwalnych MANDRELA, 1992; PEKAŁA, 1992c)

Pokład	Seria	Pole	Miąższość [m]			Zawartość popiołu [%]	Zawartość siarki [%]	Wartość opałowa [MJ/m ³]	Gęstość objętościowa [g/cm ³]	Typ węgla	Wskaźnik R	Metanonośność [m ³ /t csw]
			mini-malna	maksy-malna	średnia							
205/4	KSP	ĆW	0,40	1,70	1,23	7,51	1,32	26,4	1,40	31,2-32,1	0,56	0,9—2,9
205/5	KSP	ĆW	0,00	3,00	1,60	10,10	1,11	25,8	1,38	31,2-32,1	0,96	0,1—3,7
206/1	KSP	ĆW	0,00	2,20	1,45	13,51	0,94	25,9	1,39	31,2-32,1	0,66	1,1—3,0
206/6	KSP	ĆW	0,00	3,37	1,72	9,38	1,18	26,9	1,38	31,2-32,1	0,97	0,1—3,5
207	KSP	ĆW	0,80	2,20	1,76	9,49	1,30	26,2	1,37	31,2-32,1	0,94	0,2—3,8
208/2	KSP	ĆW	0,00	2,10	1,13	10,18	1,17	26,3	1,37	31,2-32,1	0,49	0,2—3,0
209/2	KSP	ĆW	0,70	2,70	1,26	16,94	1,10	24,5	1,43	31,2-32,2	0,77	0,3—5,4
210	KSP	ĆW	0,00	2,30	1,02	17,44	0,82	24,2	1,45	31,2-32,2	0,49	0,6—3,1
211	KSP	ĆW	0,40	2,30	1,16	13,99	0,82	25,3	1,41	31,2-32,2	0,65	0,3—1,5
211/1	KSP	DA	0,70	2,05	1,39	17,60	0,90	23,8	1,39	31,2-32,2	0,79	1,1—4,0
212/1	KSP	ĆW	0,40	1,85	1,28	17,80	0,94	24,9	1,44	31,2-32,2	0,80	1,7—2,2
212/2	KSP	ĆW	0,00	2,00	1,34	14,87	0,74	25,5	1,42	31,2-32,2	0,73	1,3—3,3
212/2	KSP	DA	1,18	2,70	2,15	15,73	0,66	23,6	1,42	31,2-32,2	1,00	0,1—3,7
213/1	KSP	ĆW	0,30	1,50	1,15	17,04	0,83	24,9	1,43	31,2-32,1	0,67	0,5—3,4
214/1	KSP	ĆW	0,50	1,70	1,14	15,59	0,88	25,1	1,44	31,2-32,1	0,48	1,6—4,7
214/1	KSP	DA	0,80	2,10	1,37	17,66	1,08	23,8	1,41	31,2-32,1	0,86	3,3—4,0
214/1-2	KSP	ĆW	0,90	2,70	1,55	13,91	0,85	23,3	1,40	31,2-32,1	0,91	0,3—6,0
214/2	KSP	DA	1,03	1,96	1,46	17,32	1,11	24,2	1,38	31,2-32,1	1,00	0,9—3,7
301	SM	DA	0,30	1,60	1,12	12,30	1,09	25,9	1,39	31,2	0,69	1,7—3,7
304	SM	ĆW	0,50	2,30	1,41	17,55	1,04	25,2	1,41	31,2-32,1	0,87	1,3—3,6
304	SM	DA	0,56	1,22	0,97	18,38	0,84	24,3	1,41	31,2-32,1	0,61	1,3—4,3
308	SM	ĆW	0,70	2,00	1,16	14,90	0,72	26,1	1,41	31,2-32,1	0,66	1,2
310	SM	DA	0,00	1,41	1,16	18,35	1,05	25,1	1,39	31,2-32,1	0,89	1,5—3,5
314/1	SM	ĆW	0,51	1,60	1,03	12,43	1,37	26,9	1,38	31,2-32,1	0,53	1,1
315	SM	ĆW	0,70	2,80	1,62	14,99	0,66	26,1	1,40	32,1	0,74	2,4
315	SM	DA	0,48	2,15	1,35	12,29	0,52	27,00	1,37	31,2-32,1	0,89	0,9—3,8
318/2	SM	DA	0,00	3,80	1,65	23,16	0,73	23,40	1,44	31,2-32,1	0,76	brak danych
335	SM	DA	1,03	1,64	1,30	12,49	0,59	27,00	1,35	32,1	1,00	brak danych
337	SM	DA	0,58	1,87	1,18	20,71	0,89	24,60	1,41	32,1-33	0,61	5,7—6,2
341	SM	DA	0,14	1,80	1,10	18,92	0,70	25,60	1,41	32,1-34,1	0,80	4,1—4,3
346	SM	DA	0,30	3,30	1,22	14,12	0,69	27,20	1,38	32,1	0,70	2,9—5,6
353	SM	DA	0,10	2,10	0,82	8,60	0,57	29,20	1,33	32,1-33	0,62	3,2—3,6
354	SM	DA	0,20	1,54	1,21	8,97	0,38	29,40	1,35	31,2-32,1	0,96	2,4—8,2
355	SM	DA	0,20	1,75	1,20	7,55	0,40	29,80	1,35	31,2-32,1	0,89	3,1—8,2
357	SM	DA	0,68	1,20	1,00	10,68	0,51	28,70	1,35	32,1-34,1	0,71	1,0—11,6
405	SM	DA	1,50	3,30	2,08	10,21	0,58	29,50	1,36	32,1-32,2	1,00	1,4—6,0
510	GSP	DA	0,55	5,40	4,29	14,49	0,37	27,90	1,42	32,1-32,2	0,93	0,7—2,4

Objaśnienia: **ĆW** — pole Ćwiklice, **DA** — pole Dankowice, **KSP** — krakowska seria piaskowcowa, **SM** — seria mułowcowa, **GSP** — górnośląska seria piaskowcowa.

padliska śródgórskiego lub międzygórskiego na wschodzie (np. BUKOWY, 1972; KONSTANTYNOWICZ, 1994). Badany obszar leży w części zagłębia o cechach przejściowych między wymienionymi typami geotektonicznymi, co nie pozostaje bez wpływu na zmienność miąższości i regularność występowania pokładów węgla.

6.2. Parametry fizykochemiczne oraz skład petrograficzny węgla

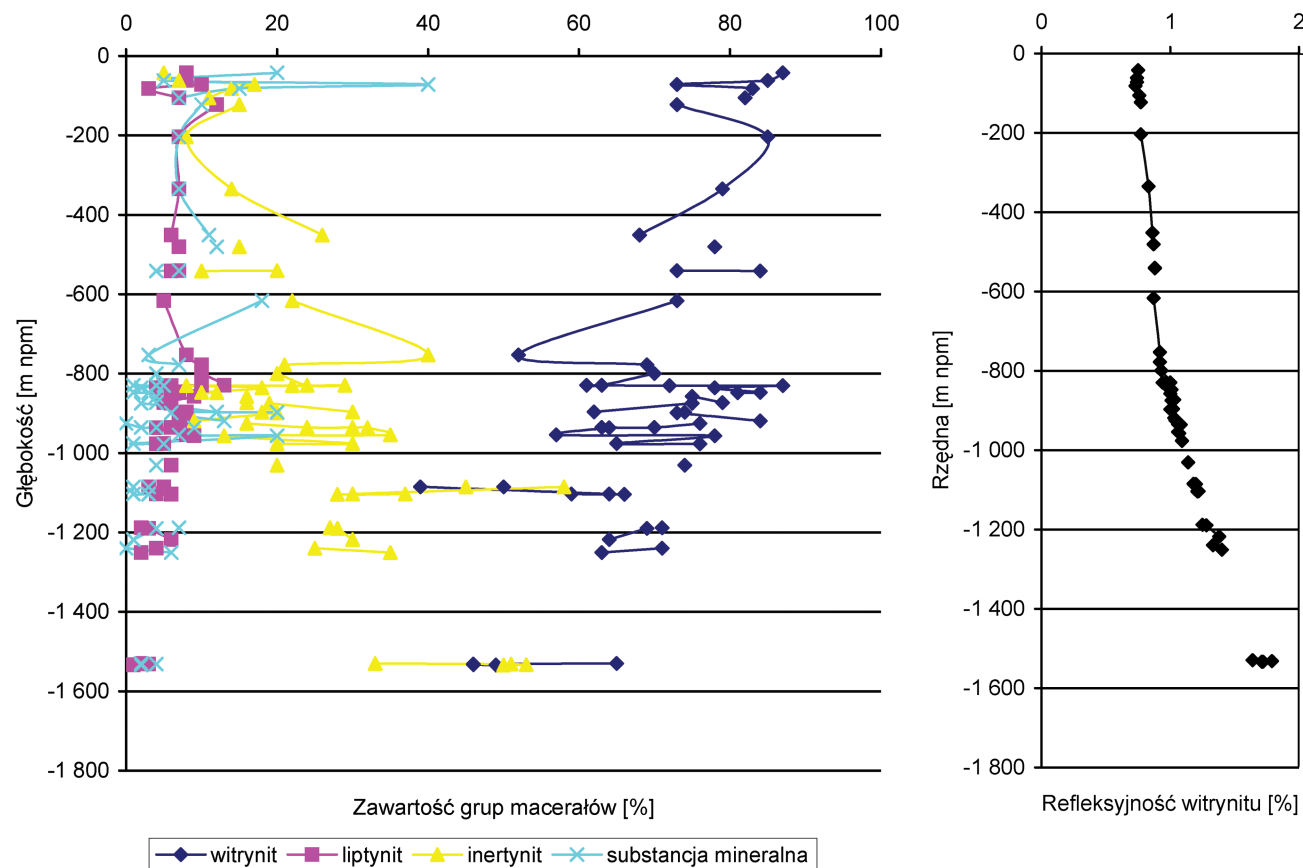
Parametry fizyczne oraz chemiczne pokładów węgla, do których zaliczamy np.: zawartość części lotnych, wartość opałową, zawartość siarki i popiołu, określają między innymi kaloryczność oraz typ węgla, które decydują o kierunku zastosowania

węgla do celów opałowych (węgiel energetyczny typów 31—34) lub do produkcji koksu (węgiel koksowy typy 35—37). Oprócz tego parametry określające stopień uwęglenia pokładów (refleksyjność wityrnytu, zawartość części lotnych, wartość opałowa) informują o dojrzałości termicznej substancji węglowej i jej zdolności do wytwarzania produktów ciekłych i gazowych w trakcie procesu uwęglania (rozdział 2.1; np. GABZDYL, 1987; KRUSZEWSKA, DYBOVA-JACHOWICZ, 1997; SEMYRKA *et al.*, 1995), a także o możliwości adsorbowania gazów (np. BOROWSKI, SOSNOWSKI, 1977; rozdział 2.1).

Węgiel badanych rejonów należy do nisko i średnio uwęglonego i reprezentuje typy od węgla płomiennego (typ 31.1) do ortokoksowego (typ 35.2). Węgiel niższych typów występuje na wschodzie badanego obszaru (rejon Cwiklice, Dankowice, Kobiór-Pszczyna oraz Pawłowice). W kierunku zachodnim i południowym udział wyższych typów zwiększa się i w rejonie Warszawic-Pawłowic, Bzia-Dębiny i Gołkowic występuje węgiel gazowy (typ 33), gazowo-koksowy (typ 34) do ortokoksowego (typy 35.1 i 35.2, rejon Bzia-Dębiny; KRZANOWSKA, 2002, 2005; MANDRELA, PEKALA, 2002). Tendencję przechodzenia typów węgla od niższych do wyższych, a zatem i wzrostu stopnia uwęglenia w kierunku południowym i zachodnim potwierdza także wzrost średniej refleksyjności wi-

trytnu (R_o) w otworach wiertniczych z ok. 0,8% w otworze Łąka IG-1 w okolicy Pszczyny na wschodzie obszaru do 2% w otworze Ruptawa IG-1 (okolice Jastrzębia-Zdroju) na zachodzie. Zawartość części lotnych (V^{daf}) pokładów leżących przy stropie utworów karbonu waha się w granicach 30—38%, z wyraźną tendencją malejącą w kierunku zachodnim (JURECZKA *et al.*, 2005). Średnia wartość opałowa węgla dla rejonów Warszawic-Pawłowic, Cwiklic oraz Dankowic wynosi 26 MJ/kg i wykazuje słabą tendencję wzrostową wraz z wiekiem pokładów (tabela 6.1 i 6.2). Średnia zawartość siarki to 0,6% (rejon Warszawic-Pawłowic) i 0,8% (rejon Cwiklic i Dankowic), przy czym widoczna jest wyraźna tendencja do spadku zawartości siarki od pokładów stratygraficznie młodszych do starszych (tabela 6.1 i 6.2). Wyraźny jest również wzrost refleksyjności wityrnytu wraz z głębokością pokładów, a także w profilu stratygraficznym (rys. 6.1), co jest typowe dla GZW i świadczy o wzroście stopnia uwęglenia zgodnie z regułą Hilta. Obserwowany trend spadku stopnia uwęglenia w badanym obszarze w kierunku wschodnim jest zgodny z tendencją obniżania się stopnia uwęglenia pokładów w GZW ku wschodowi (KOTAS, 1987).

Średnie zapopielenie pokładów utrzymuje się na poziomie ok. 14% w rejonie Cwiklic i Dankowic



Rys. 6.1. Skład macerałowy węgla i refleksyjność wityrnytu w rejonie Warszawic-Pawłowic (źródło danych: HADRO *et al.*, 1998)

oraz 17% w rejonie Warszowic-Pawłowic i nie wykazuje wyraźnej zmienności przestrzennej.

Zaprezentowane parametry fizykochemiczne węgla sprzyjają zarówno wytwarzaniu metanu i jego homologów gazowych, jak i procesom akumulacyjnym gazów. Jak wykazują badania (np. KWARCINŚKI, HADRO, 2008), refleksyjność wityrytu na poziomie 0,8—1,1% wystarczy do wytworzenia metanu w ilości umożliwiającej pełne nasycenie pokładu metanem, natomiast z badań przeprowadzonych przez J. TARNOWSKIEGO i M. ZAWIERUCHE (1994) wynika, że największą metanonośnością odznaczają się pokłady węgla, w których V^{daf} mieści się w przedziale 30—35%, co ogólnie odpowiada węglom od płomiennych do gazowo-koksowych (typu 31—34), wyróżnionym między innymi na podstawie $V^{\text{daf}} > 28\%$ i obecnym w przystropowych partiach karbonu w obszarze badań (rejon Warszowic-Pawłowic).

W składzie petrograficznym węgla przeważa grupa wityrytu w pokładach węgla krakowskiej serii piaskowcowej i mułowcowej (JURCZAK-DRABEK, 1996), przy czym w przypadku pierwszej zawartość tej grupy z reguły nie przekracza 60% (KRUSZEWSKA, DYBOVA-JACHOWICZ, 1997), a w przypadku drugiej wynosi ok. 60—70%. W pokładach górnośląskiej serii piaskowcowej zwiększa się udział grupy inertynitu (fuzynitu i semifuzynitu) do ok. 30—40%. Zawartość macerałów z grupy liptynitu rzadko przekracza 15% i maleje wraz z głębokością, aż do całkowitego zaniku (rys. 6.1).

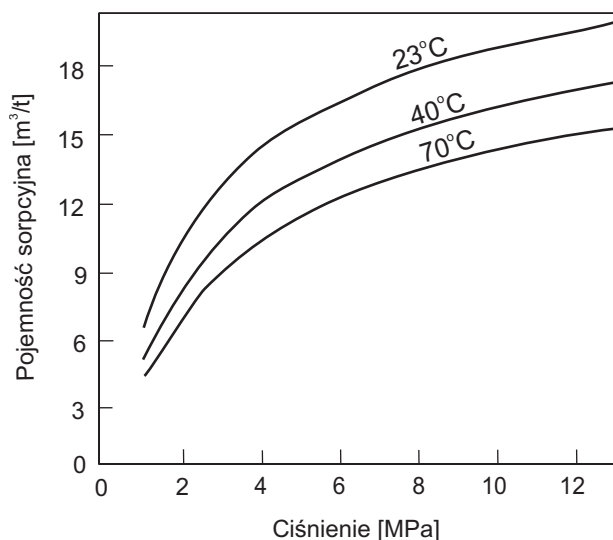
Przewaga macerałów wityrytowych w krakowskiej serii piaskowcowej i serii mułowcowej jest czynnikiem sprzyjającym adsorpcji gazów w pokładach, z uwagi na występowanie w macerałach tej grupy mikroporów węglowych (np. LAMBERSON, BUSTIN, 1993). Zagadnienie to będzie omówione szerzej w rozdziale 6.4.

Dominującym mikrolitotypem w pokładach krakowskiej serii piaskowcowej jest wityryt, a rzadziej trimaceryt przy zwiększonym udziale klarytu, z kolei w pokładach serii mułowcowej zdecydowanie przeważa wityryt, mniej licznie zaś występuje trimaceryt (KRUSZEWSKA, DYBOVA-JACHOWICZ, 1997). W pokładach górnośląskiej serii piaskowcowej dominującymi mikrolitotypami są trimaceryt, duryt i wityryt w warstwach siodłowych oraz wityryt i trimaceryt o przewadze duroklarytu w warstwach rudzkich (KRUSZEWSKA, DYBOVA-JACHOWICZ, 1997). Na podstawie udziału poszczególnych mikrolitotypów można wnioskować o facji węglowej (np. TEICHMÜLLER, 1989). Przewaga wityrytu w niemal wszystkich seriach węglowych (35—60%) sugeruje, że w basenie sedymentacyjnym badanego obszaru, podobnie jak i całego GZW, panowały warunki do tworzenia się facji leśnej. Obecność pozo-

stałych mikrolitotypów wskazuje, że okresowo warunki sprzyjały także tworzeniu się innych facji, np. facji lądowej, trzcinowo-szuwarowej oraz podwodnej (JURCZAK-DRABEK, 1996). Szczególnie dotyczy to warstw siodłowych, w których zwiększa się udział durytu i trimacerytu (do ok. 20%). Przewaga wityrytu (facji leśnej) może wywierać pozytywny wpływ na obecność szczelin i przepuszczalność substancji węglowej, o czym będzie mowa w rozdziale 6.5 niniejszej monografii.

6.3. Pojemność gazowa i nasycenie pokładów metanem

Pod pojęciem „pojemność gazowa (pojemność sorpcyjną, metanopojemność) węgla” rozumie się ilość metanu, jaką może zaadsorbować węgiel w warunkach konkretnego ciśnienia i temperatury. Graficznym przedstawieniem pojemności sorpcyjnej węgla (pojemności gazowej) jest izoterma sorpcji, czyli krzywa obrazująca zmiany objętości zaadsorbowanego w próbce węgla gazu w funkcji ciśnienia przy stałej temperaturze (rys. 6.2).



Rys. 6.2. Przykłady izoterm sorpcji próbki węgla (HOLDA *et al.*, 1995; KĘDZIOR, 2009b, zmodyfikowane)

Metanopojemności pokładu nie należy utożsamiać z jego metanonośnością. To drugie pojęcie oznacza zmierzoną ilość metanu zakumulowanego w pokładzie węgla, a więc ilość rzeczywistą. Metanopojemność natomiast informuje jedynie o potencjalnej możliwości adsorpcji określonej ilości metanu w konkretnych uwarunkowaniach termobarycznych. Stosunek zmierzonej metanonośności do wyznaczonej metanopojemności pokładu, wyrażony w procentach, oznacza stopień nasycenia pokładu metanem.

Węgiel GZW wykazuje duże niedosycenie metanem w warunkach złożowych. Wyniki badań izoterm sorpcji Langmuira dla próbek węgla w zakresie różnych ciśnień i temperatur wskazują na stosunkowo wysoką pojemność gazową (metanopojemność) węgla, wynoszącą od kilku do ok. 40 m³/t csw (HOŁDA *et al.*, 1995). Zmienność pojemności sorpcyjnej pokładów wraz z głębokością występowania uzależniona jest od licznych czynników, obejmujących między innymi stopień uwęglenia pokładów, skład petrograficzny, ciśnienie hydrostatyczne oraz temperaturę, wilgoć i popielność.

Wyniki badań w zagłębiach węglowych na świecie (np.: DMITREV *et al.*, 1982; KIM, 1977; LAXMINARAYANA, CROSDALE, 1999) wskazują na pozytywną rolę stopnia uwęglenia w kształtowaniu się zdolności sorpcyjnych węgla. W przypadku pokładów słabiej uwęglonych, o $R_o < 1,65\%$, istotny także jest skład macerałowy węgla, gdyż węgiel bogaty w grupę witrynu może zaadsorbować więcej metanu niż węgiel bogaty w grupę inertynitu na tym samym stopniu uwęglenia (np. CROSDALE *et al.*, 1998; HILDENBRAND *et al.*, 2006). Jednakże badania zdolności sorpcyjnych polskich węgla z GZW (JURCZAK-DRABEK, KWARCINSKI, 2003) potwierdziły pozytywną rolę grupy inertynitu w procesie sorpcji metanu.

Wpływ temperatury na zdolności sorpcyjne pokładu jest negatywny (BOROWSKI, SOSNOWSKI, 1977; KHAVARI-KHORASANI, MICHELSEN, 1999; TWARDOWSKI, 1999). Wyniki badań zaprezentowane w pracy J. BOROWSKIEGO i M. SOSNOWSKIEGO (1977) wykazały, że pokład węgla występujący na głębokości ok. 2 000 m w temperaturze 83°C może zaadsorbować 40–50% metanu w stosunku do pokładu znajdującego się na głębokości odpowiadającej temperaturze 20°C.

Wobec przeciwnego działania na zdolności sorpcyjne węgla z jednej strony temperatury, a z drugiej strony stopnia uwęglenia i ciśnienia hydrostatycznego, zwiększających się wraz z głębokością, zaproponowano tzw. optymalną strefę metanonośną (OSM), czyli przedział głębokości, w którym zarówno temperatura, ciśnienie, jak i stopień uwęglenia umożliwiają adsorpcję największej ilości metanu (np. BOROWSKI, SOSNOWSKI, 1977; NIEĆ, 1993). W warunkach GZW strefa ta występuje na głębokości ok. 800–1 500 m (KĘDZIOR, 2009b), z możliwością wahań, i pokrywa się z podstawową (głęboką) strefą metanonośną. Z uwagi na to, że metanonośność pokładów w tej strefie na ogół nie przekracza kilkunastu metrów sześciennych na tonę bezwodnej i bezpopiołowej substancji węglowej i jest niższa niż metanopojemność wynikająca z interpretacji izoterm sorpcji Langmuira ($> 10\text{--}20\text{ m}^3/\text{t csw}$), pokłady te należy traktować

jako niedosycone metanem. Stopień nasycenia pokładów metanem w GZW szacowany jest na poziomie 30–70% dla podstawowego interwału metanonośnego (KWARCINSKI, HADRO, 2008).

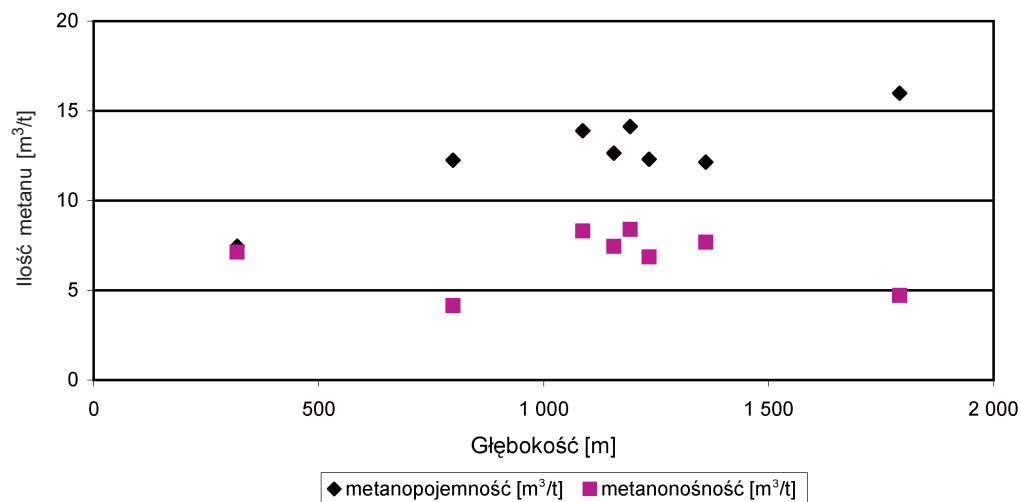
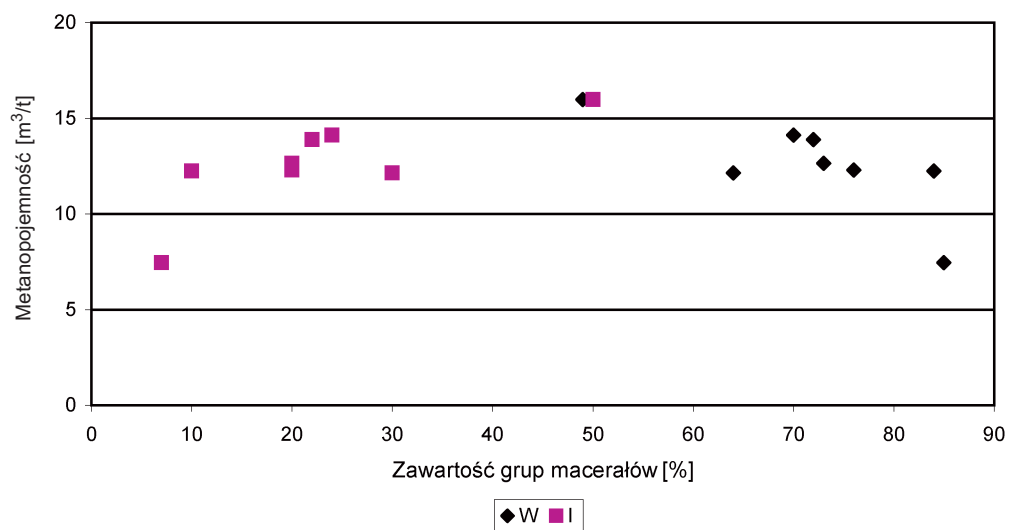
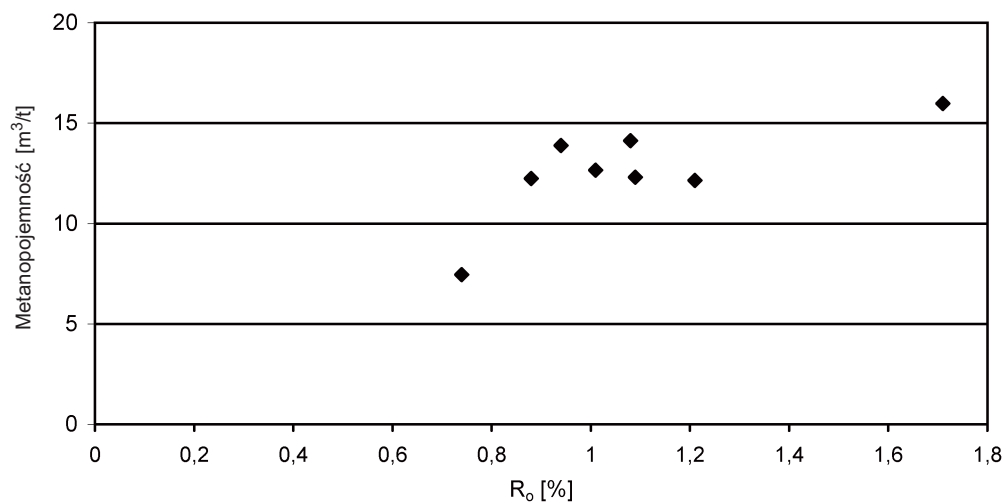
Z innych czynników wywierających zdecydowanie negatywny wpływ na metanopojemność należy wymienić zawilgocenie i popielność pokładu (np.: CLARKSON, BUSTIN, 2000; TWARDOWSKI, 1999), które mogą ograniczyć zdolności sorpcyjne nawet o 50–80% (GASCHNITZ, *vide*: HILDENBRAND *et al.*, 2006).

Porównania metanopojemności oraz metanonośności pokładów węgla w badanym obszarze dokonano wyłącznie na podstawie zestawień danych archiwalnych wyników badań wykonanych na próbkach pochodzących z otworów wiertniczych firm Amoco oraz Texaco.

Zmienność metanopojemności oraz metanonośności pokładów węgla wraz z głębokością ilustrują rys. 6.3, 6.5 i 6.7. Metanopojemność wyznaczono na podstawie izoterm sorpcji Langmuira (rys. 6.4 i 6.6), szcztując wartość metanopojemności, która odpowiada ciśnieniu hydrostatycznemu dla danej głębokości. Z rys. 6.3 oraz danych zawartych w tabeli 6.3 wyraźnie wynika, że na głębokości poniżej 500 m pokłady są niedosycone metanem. Jeśli chodzi o pokłady występujące płycej, a więc w przystropowym interwale metanonośnym, to ich nasycenie metanem jest pełniejsze, sięgające 75–95% w rejonie Warszowic-Pawłowic, w którym pokłady węgla występują wśród łożowców serii mułowcowej. W rejonach Kobióru-Pszczyny oraz Ćwiklic-Dankowic, gdzie obecne są piaskowce łaziskie krakowskiej serii piaskowcowej w stropie karbonu, nasycenie pokładów jest o wiele mniejsze (tabela 6.4).

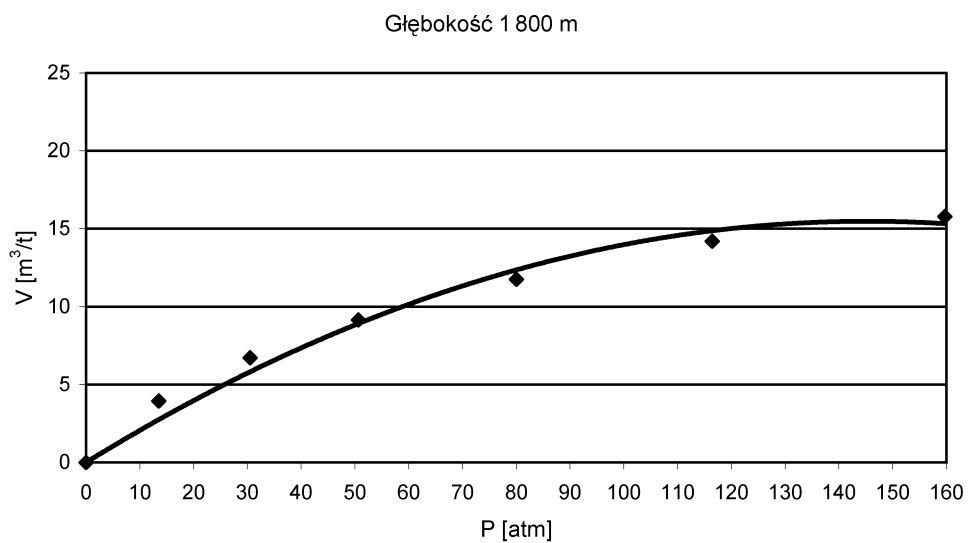
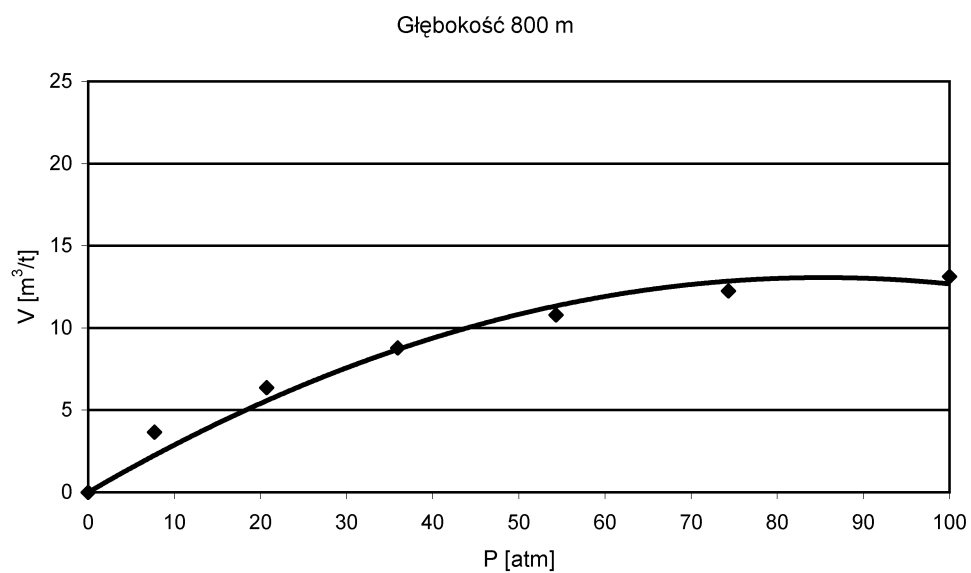
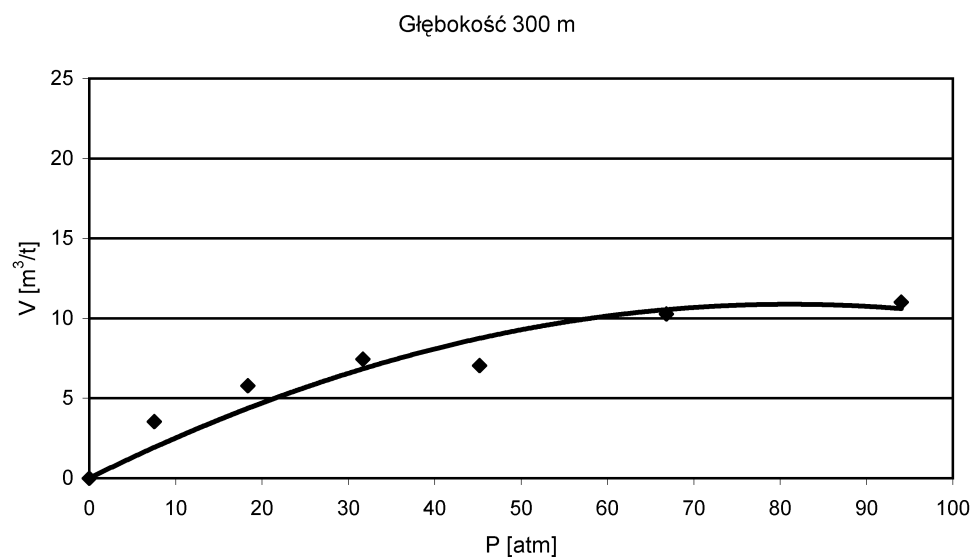
W większości analizowanych otworów (z wyjątkiem otworu WPTxA, rys. 6.3) wzrost metanopojemności pokładów następuje do pewnej głębokości, ok. 1 100–1 200 m, następnie zaznacza się jej spadek (rys. 6.5 i 6.7). Podobnie przedstawia się zależność metanopojemności pokładów od refleksyjności witrynu (rys. 6.5 i 6.7). Spadek zdolności sorpcyjnych pokładów na głębokości poniżej 1 200 m w większości analizowanych otworów oznaczać może negatywny wpływ wzrastającej temperatury górotworu.

Zależność pojemności sorpcyjnej od składu macerałowego pokładów oraz refleksyjności witrynu nie jest widoczna (rys. 6.3, 6.5 i 6.7), poza otworem WPTxA, w profilu którego zaznacza się pozytywna zależność metanopojemności od obecności macerałów z grupy inertynitu, co byłoby zgodne z wynikami badań A. JURCZAK-DRABEK i J. KWARCINSKIEGO (2003). Należy jednak mieć na uwadze, że w wyniku silnego oddziaływania stopnia uwęglenia, temperatury oraz ciśnienia hydrostatyczne-

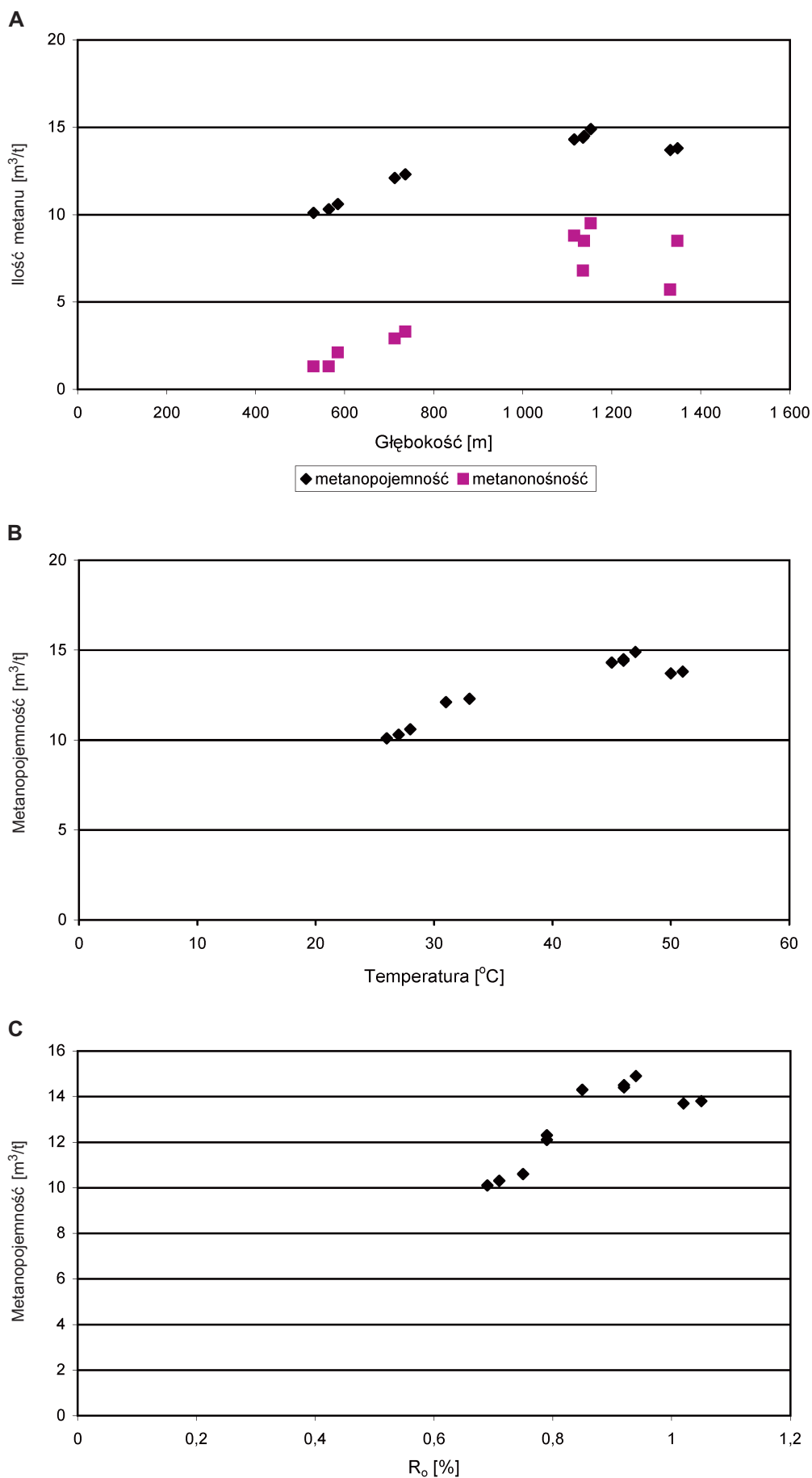
A**B****C**

Rys. 6.3. Zmienność metanopojemności i metanonośności pokładów wraz z głębokością (A) oraz zależność metanopojemności od wybranych parametrów złożowych (B—C) w obszarze Warszawic-Pawłowic (na podstawie wyników badań archiwalnych HADRO *et al.*, 1998):

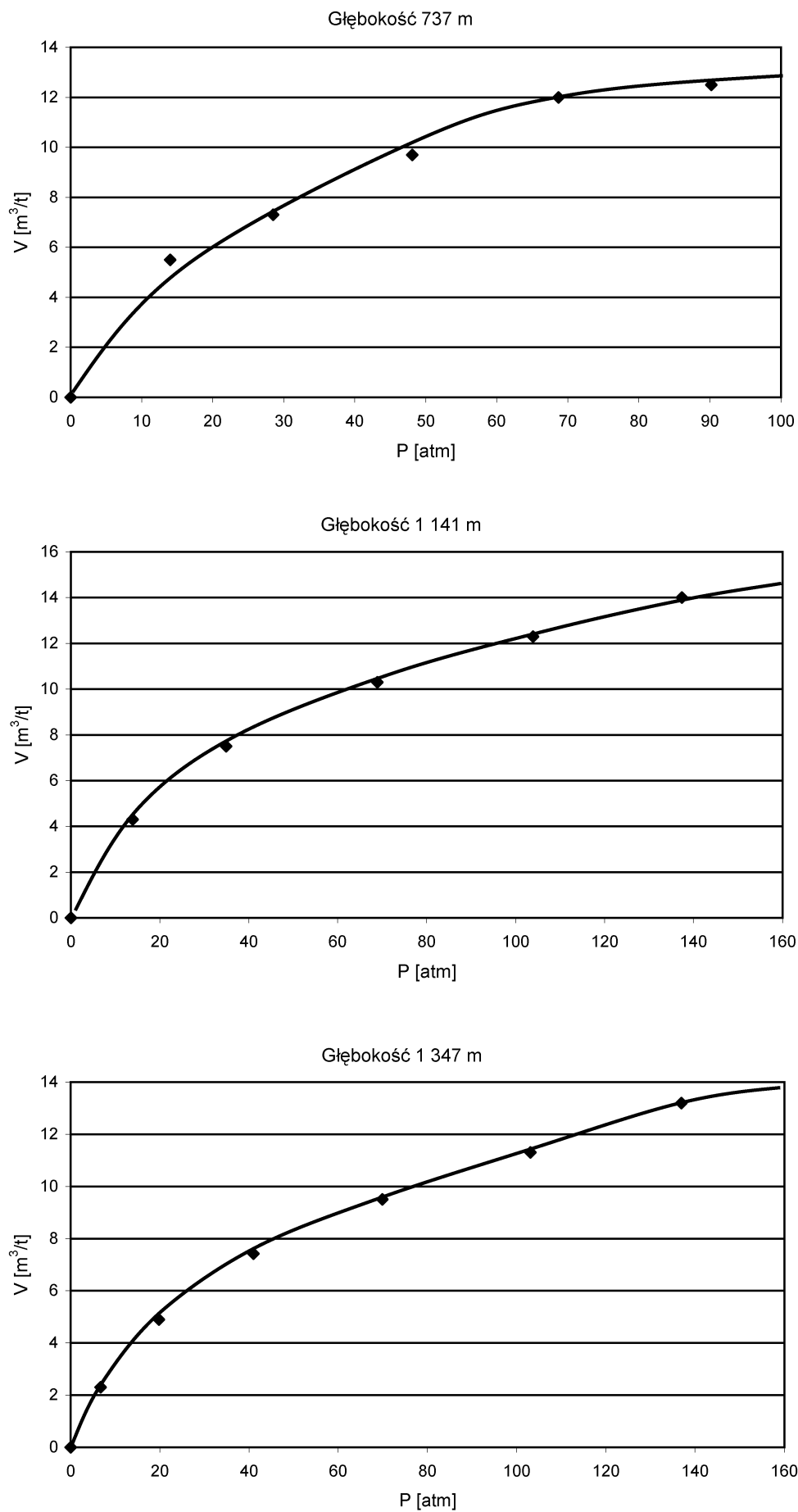
W — wityrnyt, I — inertynit, R_0 — refleksyjność wityrnytu



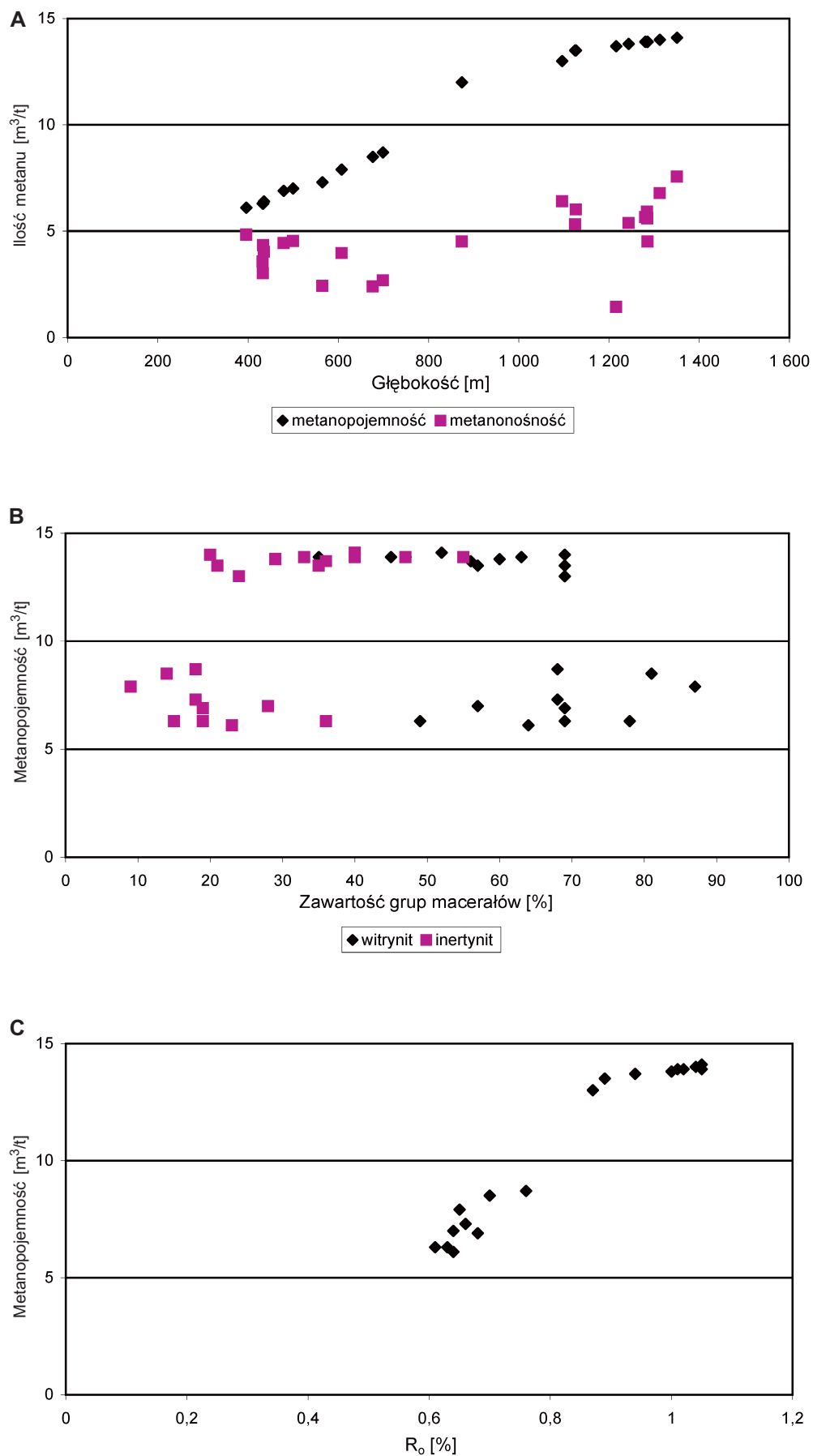
Rys. 6.4. Izotermy sorpcji próbek węgla z rejonu Warszowic-Pawłowic (HADRO *et al.*, 1998)



Rys. 6.5. Zmienność metanopojemności i metanonośności pokładów wraz z głębokością (A) oraz zależność metanopojemności od wybranych parametrów złożowych (B—C) w rejonie Ćwiklic (na podstawie wyników badań archiwalnych HADRO *et al.*, 1997)



Rys. 6.6. Izotermy sorpcji próbek węgla z rejonu Ćwiklic (na podstawie danych archiwalnych HADRO *et al.*, 1997)



Rys. 6.7. Zmienność metanopojemności i metanonośności pokładów wraz z głębokością (A) oraz zależność metanopojemności od wybranych parametrów złożowych (B—C) w rejonie Kobiór-Pszczyna (na podstawie wyników badań archiwalnych HADRO *et al.*, 1997)

Tabela 6.3. Zestawienie metanopojemności i metanonośności pokładów na tle stopnia uwęglenia i składu macerałowego węgla w rejonie Warszawic-Pawłowic (na podstawie danych archiwalnych HADRO *et al.*, 1998)

Głębokość [m]	Metanopojemność [m ³ /t]	Metanonośność [m ³ /t]	Nasycenie [%]	Temperatura [°C]	R _o [%]	Zawartość grup macerałów [%]			
						W	L	I	Mn
318,9	7,46	7,12	95,4	20	0,74	81	8	7	4
798,9	12,25	4,14	33,8	37	0,88	81	6	10	3
1 087,5	13,89	8,31	59,8	47	0,94	69	6	21	4
1 156,0	12,65	7,45	58,9	50	1,01	69	7	19	5
1 192,8	14,12	8,39	59,4	51	1,08	69	6	24	1
1 234,8	12,3	6,86	55,8	53	1,09	72	4	19	5
1 360,9	12,14	7,67	63,2	57	1,21	63	6	30	1
1 791,3	15,98	4,72	29,5	73	1,71	48	1	49	2

Objaśnienia: W — grupa wityritu, L — grupa liptyritu, I — grupa inertynitu, Mn — substancja mineralna.

Tabela 6.4. Nasycenie pokładów metanem w przystropowej strefie gazonośnej (na podstawie danych archiwalnych HADRO *et al.*, 1997; HADRO *et al.*, 1998)

Rejon	Nasycenie pokładów metanem [%]	Stratygrafia przystropowej partii karbonu
Warszowice-Pawłowice	75—95 (wysokie)	seria mułowcowa
Kobiór-Pszczyna	7—79 (średnie)	krakowska seria piaskowcowa, miejscami seria mułowcowa
Ćwiklice	13 (niskie)	krakowska seria piaskowcowa

go na metanopojemność w badanym rejonie wpływ składu petrograficznego i mineralnego pokładów może być w dużym stopniu zatarty.

Wielkość nasycenia pokładów metanem, zdaniem wielu autorów (np. HILDENBRAND *et al.*, 2006; KHAVARI-KHORASANI, MICHELSEN, 1999), jest wynikiem rozwoju geologicznego zagłębienia w przeszłości geologicznej, obejmującego między innymi długotrwałe wynoszenie, subsydencję i związane z nimi zmiany temperatury oraz ciśnienia. Pokłady wynoszone z dużych głębokości i wskutek wynikającego z tego spadku temperatury powiększają swą metanopojemność. Jeżeli nie nastąpi wytworzenie bądź dopływ nowych ilości metanu, to stają się niedosycone metanem. Taka sytuacja prawdopodobnie miała miejsce w przypadku GZW, w którym długotrwałe wynoszenie zagłębienia w ciągu mezozoiku oraz paleogenu przyczyniło się do zmian warunków temperaturowych pokładów i w konsekwencji ich niedosycenia metanem. Ponadto ucieczka metanu spowodowana długotrwałym odsłonięciem serii węglonośnej w tym czasie mogła jeszcze bardziej pogłębić rozmiary tego zjawiska.

J. HADRO i zespół w niepublikowanej pracy (2006) sugerują za A. KOTASEM (1971, 1987, 2001),

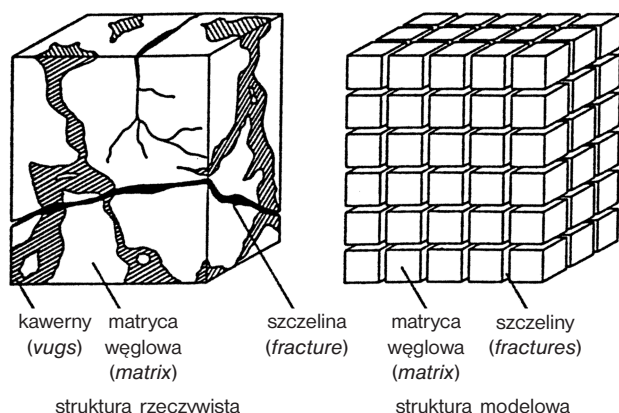
że w GZW nastąpił nowy impuls termiczny w mezozoiku lub paleogenie, wskutek którego doszło do wytworzenia nowych ilości metanu, wystarczających do pełnego nasycenia pokładów. Następnie, po ostygnięciu górotworu oraz jego wyniesieniu, pokłady węgla znalazły się w zasięgu niższych temperatur, co skutkowało powiększeniem ich zdolności sorpcyjnych i w rezultacie niedosyceniem metanem.

Przystropowe partie karbonu, jak wykazały badania i obserwacje w rejonie Warszawic-Pawłowic, charakteryzują się pełniejszym, 75—95% nasyceniem pokładów, co może wskazywać, że zostały wtórnie dosycone metanem. Nowe ilości metanu potrzebnego do prawie całkowitego nasycenia tych pokładów mogły zostać wytworzone przez bakterie metanowe, dostarczone około miocenu wraz z wodami meteorycznymi, wnikałymi w zerodowaną i odsłoniętą powierzchnię utworów węglonośnych (KOTARBA, PLUTA, 2009; zob. rozdział 5). Pewną część prawdopodobnie stanowił także metan termogeniczny pochodzenia migracyjnego, który dopłynął z głębszych partii karbonu (zob. rozdział 5). Znacznie słabsze nasycenie pokładów w zasięgu piaskowców łaziskich oznaczać może ucieczkę metanu z pokładów w wyniku obecności wokół nich porowatych i przepuszczalnych piaskowców albo brak wytworzenia znacznych ilości wtórnego metanu mikrobialnego.

Wysokie nasycenie pokładów metanem w przystropowej strefie w rejonie Warszawic-Pawłowic stanowi mocny dowód na to, że nowe ilości tego gazu mogły zostać w tym rejonie wytworzone lub też mogły być dostarczone migracyjnie w czasie późniejszym w stosunku do generowania metanu pierwotnego (późny karbon, zob. rozdział 2; KOTARBA, 2001). Stanowić też może przesłankę co do korzystniejszych warunków eksploatacji MPW oraz zagospodarowania go jako surowca.

6.4. Parametry zbiornikowe substancji węglowej uzyskane na podstawie badań pikno- i porozymetrycznych

Na początku rozdziału 6 zaznaczono, że model substancji węglowej zaproponowany przez J.E. WARRENA i P.J. ROOTE'A (1963) wskazuje na obecność tzw. matrycy węglowej oraz systemu szczelin w pokładzie (rys. 6.8).



Rys. 6.8. Struktura substancji węglowej według modelu J.E. WARRENA i P.J. ROOTE'A (1963)

Matryca węglowa uznawana jest za ośrodek porowaty i praktycznie nieprzepuszczalny, natomiast przepływ mediów może się odbywać za pośrednictwem szczelin (rozdział 6.5). Węgiel (matrycę) cechuje bardzo skomplikowany system porów, który obejmuje w zależności od rozmiarów: makropory (> 50 nm), mezopory (2–50 nm), mikropory (< 2 nm) oraz submikropory ($< 0,8$ nm). Specyfikę systemu porów w substancji węglowej opisuje wiele modeli. Spośród nich wymienić można miceralny model Banghama, zakładający spłaszczenie kulistych micel w trakcie uwęglania i tym samym zanik wolnych międzymiceralnych objętości, oraz model Hirsha, przyjmujący występowanie zmieniających się w procesie uwęglania płaskich lamel, tworzących krystality, które zmieniając swe położenie, przyczyniają się do zmian porowatości całkowitej (ŻYŁA, 2000). Dominującym rodzajem porów w węglu kamiennym są mikropory, stanowiące ponad 90% pustej przestrzeni, przy jednoczesnym bardzo rozbudowanym układzie submikroporów, o rozmiarach w dużym stopniu porównywalnych z cząsteczkami substancji sorbowanych (MILEWSKA-DUDA, 2000). O wiele mniejszą rolę odgrywają mezopory oraz makropory. Od rozmiaru i kształtu porów zależą mechanizmy deponowania sorbatów, np. metanu, polegające na objętościowym wypełnianiu mikroporów w odróżnieniu od powierzchniowego

węgo pokrywania ścianek otwartych makroporów (MILEWSKA-DUDA, 2000). Procesy sorpcji metanu w węglu zachodzą głównie w objętości mikroporów oraz submikroporów, z kolei makropory i szczeliny transportują gazy i pary w węglu (NODZEŃSKI, HOŁDA, 2000; TWARDOWSKI, 1999). Z tego też względu metan sorbowany umiejscawia się w mikroporach węglowych, a metan wolny — w makroporach. Jak wykazały badania (np. HARRIS, YUST, *vide*: CEGLAŃSKA-STEFAŃSKA, 2000; LAMBERSON, BUSTIN, 1993), mikropory występują w witrynie, z kolei w inertynie obecne są makropory. Struktura porowa węgla wpływa ponadto na szybkość procesów sorpcji oraz desorpcji gazów. Według niektórych autorów (np.: BUSCH *et al.*, 2004; CROSDALE *et al.*, 1998), węgiel bogaty w macerały z grupy inertynitów charakteryzuje się szybszym procesem oddawania gazu w stosunku do węgla bogatego w grupę witrynu na tym samym stopniu uwęglania. Przyczyną szybszej desorpcji gazu są większych rozmiarów komórki macerałów inertynitowych (fuzynit i semifuzynit) niż macerałów witrinitowych.

Na potrzeby niniejszej pracy oznaczono porowatość i inne pokrewne parametry 8 próbek węgla pobranych z kopalń bezpośrednio sąsiadujących z badanymi rejonami lub położonych w stosunkowo niedalekiej od nich odległości. Próbkę węgla mniej więcej jednakowej wielkości ($40 \times 30 \times 20$ cm) pobrano z:

- KWK „Marcel” (pokład 503—504), z przodka na poziomie 330 m;
- KWK „Silesia” (pokład 312), z przodka na poziomie 600 m;
- KWK „Zofiówka” (pokład 502/1), z przodka na poziomie 705 m;
- KWK „Krupiński” (pokład 329/2), z przodka na poziomie 800 m (2 próbki);
- KWK „Zofiówka” (pokład 502/1), z przodka na poziomie 900 m;
- KWK „Marcel” (pokład 712/1—2), z przodka na poziomie 1 034;
- próbkę o rozmiarach $12 \times 12 \times 15$ cm z odwiertu Kaczyce 2/07 (pokład 414/2), z głębokości 903 m.

Wszystkie próbki poddano analizie w laboratorium Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie, na porozymetrze AutoPore IV, używając rtęci dozowanej pod ciśnieniem jako płynu penetrującego próbkę. Gęstość materiałową oraz porowatość całkowitą oznaczono na piknometrze helowym. Wykonano oznaczenia następujących parametrów substancji węglowej:

- gęstości materiałowej,
- porowatości całkowitej,
- gęstości objętościowej,

- porowatości efektywnej,
- powierzchni właściwej,
- średnicy progowej,
- histerezy.

Analizowano jeden, dwa lub trzy walce wycięte z jednej próbki, a uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 6.5. Porozymetr rtęciowy AutoPore IV umożliwia wykreślenie dwóch krzywych kumulacyjnych (porozymetrycznych), obrazujących przepływ płynu przez próbkę, dzięki którym można określić rozkład porów w substancji węglowej (rys. 6.9—6.14). Typowa krzywa kumulacyjna wygląda następująco: na osi y zamieszcza się procentowy (objętościowo) udział porów o danej średnicy w przestrzeni porowej badanej próbki (równoważny objętości wstrzykniętej do próbki rtęci), a na osi x (typu logarytmicznego) odkłada się średnice odpowiadających im porów bądź odpowiadające im ciśnienie kapilarne.

W kształcie każdej krzywej ciśnień kapilarnych możemy wyróżnić dwa charakterystyczne punkty (np. SUCH, 2000, 2002):

- Punkt, w którym rtęć zaczyna migrować do próbki — nazywamy go ciśnieniem wejścia, a odpowiadającą mu średnicę porów — średnicą wejścia. Określa on największy występujący w próbce rozmiar porów. Od tego punktu nasycenie próbki rtęcią rośnie powoli, w miarę jak rtęć wchodzi do makroporów.
- Punkt przegięcia krzywej kumulacyjnej, który z fizycznego punktu widzenia reprezentuje wartość ciśnienia (lub średnicy), po przekroczeniu której nasycenie rtęcią zaczyna bardzo szybko rosnąć przy niewielkich zmianach ciśnienia. W literaturze nazywany jest ciśnieniem progowym lub średnicą progową. Przy tym ciśnieniu rozpoczyna się przepływ płynu przez próbkę, innymi słowy — średnica porów odpowiadająca temu ciśnieniu „zapewnia komunikację” w skale.

Wykres stanowią dwie krzywe porozymetryczne: pierwsza (nasiąkania) dla ciśnień rosnących, druga (osuszania) — dla malejących. Im bliżej obie krzywe (zebrane przy rosnących i malejących ciśnieniach) leżą względem siebie, tym bardziej prze-

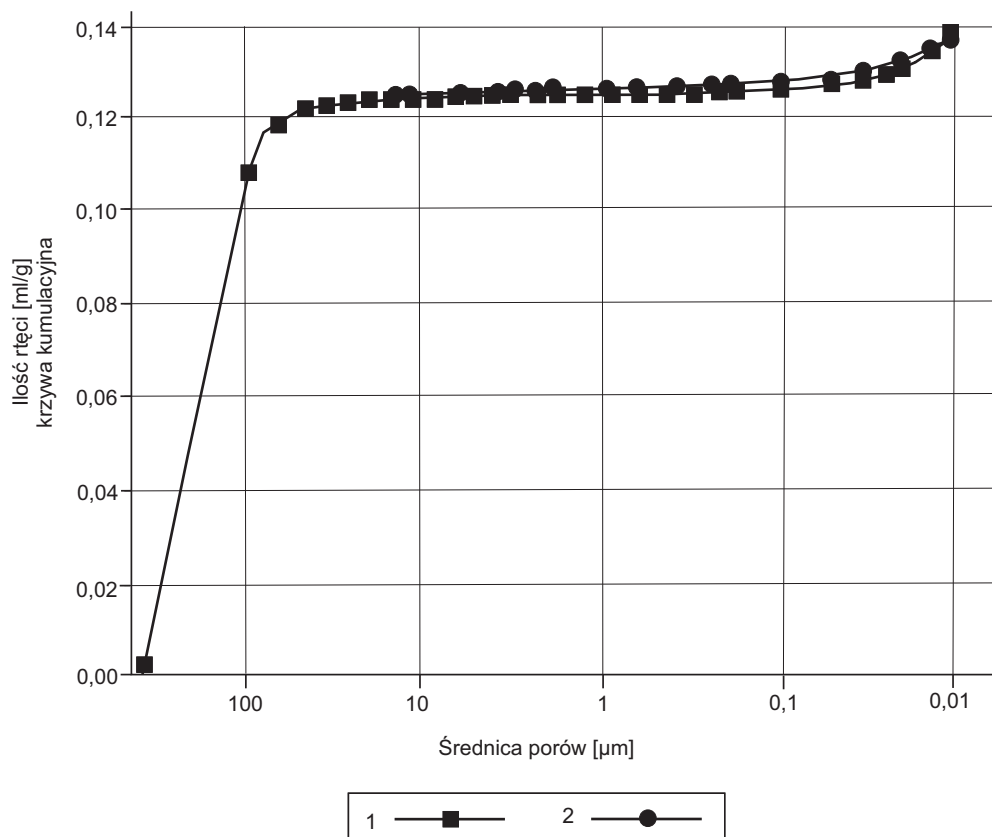
Tabela 6.5. Parametry petrofizyczne węgla pobranych próbek

Lp.	Miejsce pobrania próbki	Głębokość [m]	Seria litostratygraficzna	Numer walca	Piknometr helowy		Porozymetr rtęciowy					
					gęstość materiałowa [t/m³]	porowatość całkowita [%]	gęstość objętościowa [t/m³]	porowatość efektywna [%]	średnica kapilara [µm]	powierzchnia właściwa [m²/g]	średnica progowa [µm]	histereza [%]
1.	KWK „Zofiówka” p. 502/1	705	GSP	1 2 3	1,32 1,41 1,32	8,23 4,34 3,71	1,17 1,31 1,21	7,84 4,17 3,47	0,09 0,04 0,04	3,03 2,88 2,88	0,02 0,02 0,03	6 21 6
		705		średnia	1,35	5,43	1,23	5,16	0,06	2,93	0,02	11
2.	KWK „Zofiówka” p. 502/1	900	GSP	1 2 3	1,34 1,32 1,33	15,79 7,89 3,75	1,07 1,22 1,26	14,62 7,97 3,64	0,19 0,11 0,04	2,93 2,43 3,01	0,03 0,05 0,10	0 0 3
		900		średnia	1,33	9,14	1,18	8,74	0,11	2,79	0,06	1
3.	KWK „Krupiński” próbka górna*	865	SM	1 2	1,31 1,30	5,56 3,58	1,22 1,22	5,45 3,48	0,05 0,03	3,46 3,27	0,10 0,10	20 10
	p. 329/2	865		średnia	1,31	4,57	1,22	4,47	0,04	3,37	0,10	15
4.	KWK „Krupiński” próbka dolna**	867	SM	1 2	1,26 1,28	4,22 5,00	1,17 1,17	4,06 4,76	0,04 0,05	3,60 3,02	0,10 0,10	18 5
	p. 329/2	867		średnia	1,27	4,61	1,17	4,41	0,05	3,31	0,10	12
5.	KWK „Silesia” p. 312	700	SM	1 2	1,28 1,32	4,39 4,41	1,22 1,25	4,35 4,37	0,03 0,03	4,12 4,15	0,10 0,20	24 29
		700		średnia	1,30	4,40	1,24	4,36	0,03	4,14	0,15	27
6.	Kaczyce 2/07 p. 414/2	903	GSP	1	1,33	8,00	1,22	8,00	0,09	2,90	bd	7
7.	KWK „Marcel” p. 712/1—2	1034	SPA	1 2	1,31 1,30	3,56 2,50	1,27 1,28	3,60 2,52	0,04 0,03	2,84 2,76	0,10 0,10	13 17
		1034		średnia	1,31	3,03	1,28	3,06	0,04	2,80	0,10	15
8.	KWK „Marcel” p. 503—504	330	GSP	1 2	1,29 1,30	9,82 8,80	1,17 1,19	9,92 8,80	0,09 0,08	3,71 3,73	0,08 0,10	21 8
		330		średnia	1,30	9,31	1,18	9,36	0,09	3,72	0,09	15

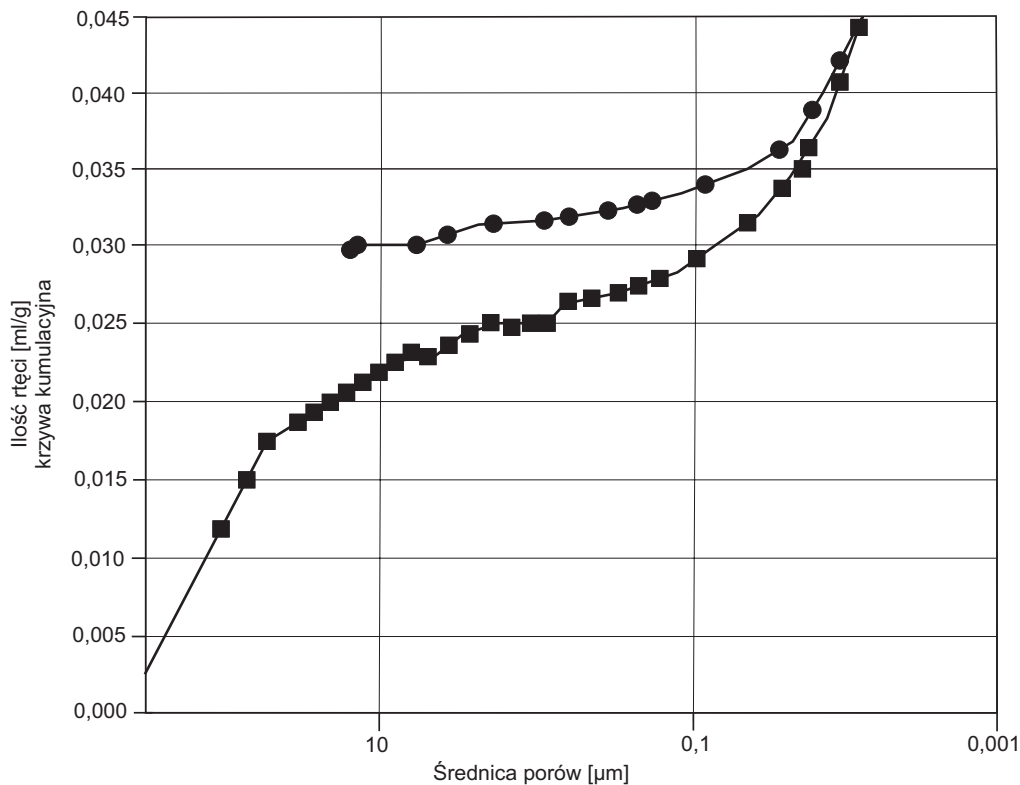
* Pobrana z partii stropowej przodka.

** Pobrana z partii spagowej przodka.

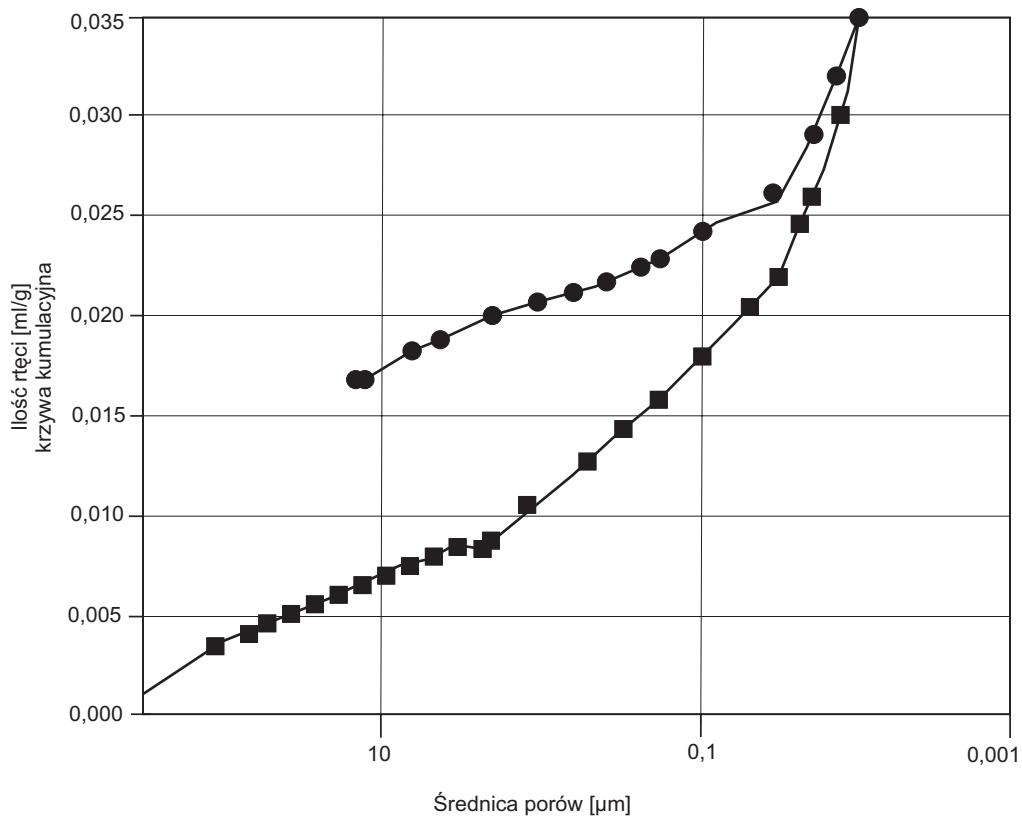
O b j a ś n i e n i a: **GSP** — górnośląska seria piaskowcowa, **SM** — seria mułowcowa, **SPA** — seria paraliczna.



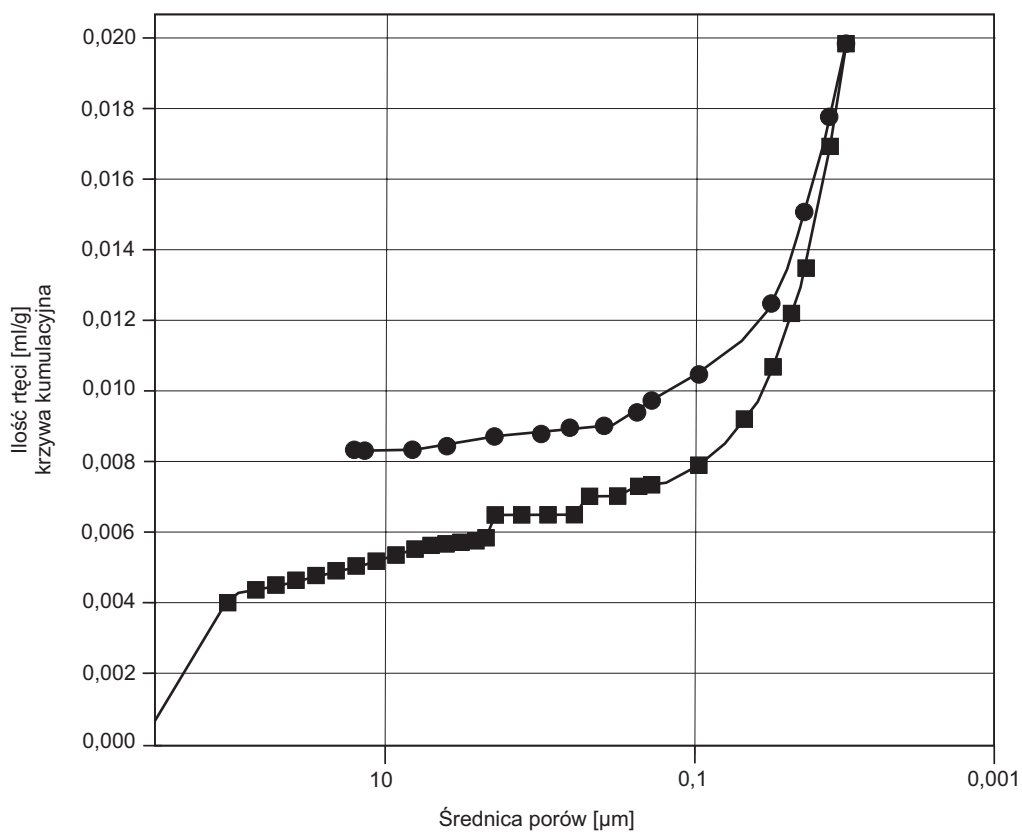
Rys. 6.9. Krzywe porozymetryczne próbki węgla z KWK „Zofiówka”, z głębokości 900 m (pokład 502/1):
1 — krzywa nasiąkania, 2 — krzywa osuszania



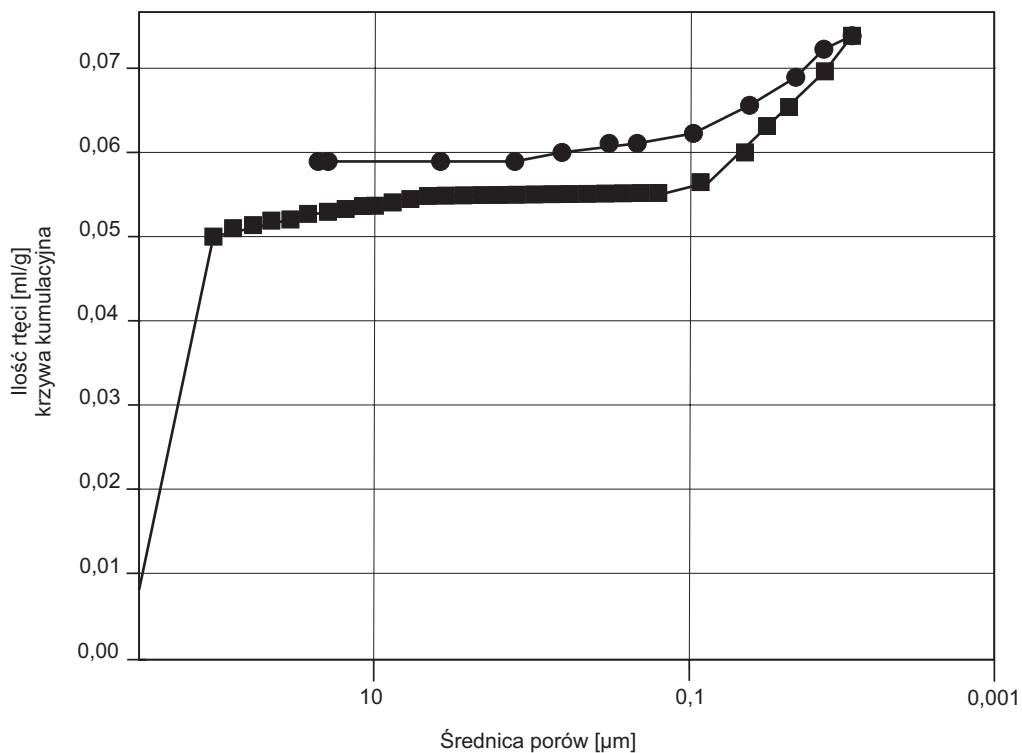
Rys. 6.10. Krzywe porozymetryczne próbki węgla z KWK „Krupiński”, z głębokości 800 m (pokład 329/2)
Objaśnienia jak do rys. 6.9



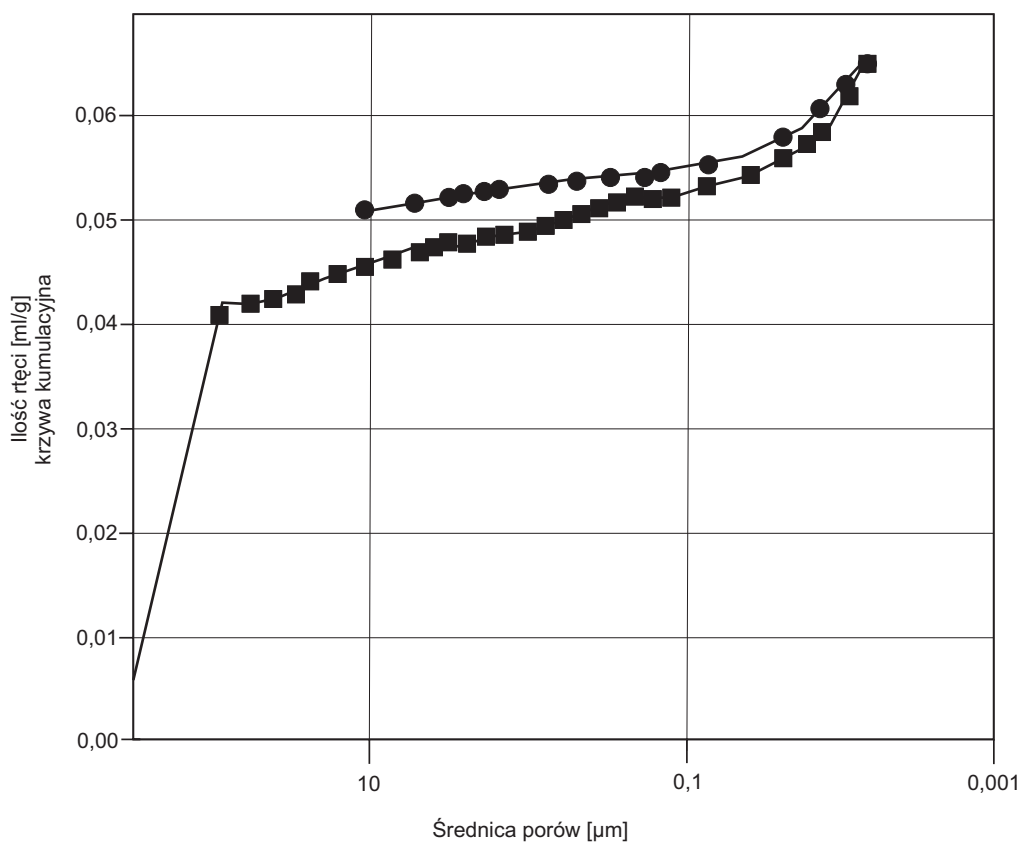
Rys. 6.11. Krzywe porozymetryczne próbki węgla z KWK „Silesia”, z głębokości 600 m (pokład 312)
 Objaśnienia jak do rys. 6.9



Rys. 6.12. Krzywe porozymetryczne próbki węgla z KWK „Marcel”, z głębokości 1 034 m (pokład 712/1-2)
 Objaśnienia jak do rys. 6.9



Rys. 6.13. Krzywe porozymetryczne próbki węgla z KWK „Marcel”, pole markłowickie, z głębokości 300 m (pokład 503-504)
 objaśnienia jak do rys. 6.9



Rys. 6.14. Krzywe porozymetryczne próbki węgla z odwiertu Kaczyce 2/07, z głębokości 903 m (pokład 414/3)
 objaśnienia jak do rys. 6.9

strzeń porowa badanej próbki przypomina model walcowy, czyli tym lepsze są jej właściwości filtracyjne. Oddalenie obu krzywych od siebie oznacza niejednorodności przepływu płynu w skale z uwagi na bardzo skomplikowany rozkład porów (znacznie odbiegający od modelu walcowego). Miara tego oddalenia jest histereza, mierzona jako różnica w nasyceniu rtęcią próbki w danym ciśnieniu dla obu krzywych. Im histereza próbki jest większa, tym kształt porów jest bardziej skomplikowany (obecność tzw. pułapek kapilarnych czy porów o charakterze lejkowatym), a tym samym warunki przepływu płynu w skale są bardziej utrudnione (SUCH, 2000, 2002; SUCH *et al.*, 2007).

Wyniki badań zestawione w tabeli 6.5 pokazują, że zarówno porowatość całkowita, jak i efektywna badanych węgla zmieniają się w dosyć szerokich granicach. W przypadku porowatości całkowitej są to wartości 2,5—15,8%, przeciętnie ok. 6%, a dla porowatości efektywnej — odpowiednio 2,5—14,6%, przeciętnie 5,9%. Nie są widoczne zarówno wpływ głębokości pokładów, jak i wpływ położenia geograficznego miejsca pobrania próbki na porowatość węgla. Wartości bliższe górnemu zakresowi przedziału porowatości mogą nie oddawać wartości faktycznych, z uwagi na oddziaływanie tzw. efektu brzegowego, polegającego na szybkim przenikaniu rtęci przez nierówną powierzchnię próbki, oraz obecność szczelin.

Analiza krzywych porozymetrycznych większości badanych próbek węgla (rys. 6.9—6.14) wykazała, że realna porowatość efektywna substancji węglowej waha się w granicach 2—3%. Ponadto trzeba mieć na uwadze, że rtęć migruje głównie w porach o średnicy powyżej 10 nm (np. TWARDOWSKI, 1999), a więc mezo- i makroporach, nie wnikając do porów o mniejszych średnicach, czyli mikro- i submikroporów, osiągalnych jedynie wskutek migracji helu (badania piknometryczne). Zjawisko histerezy przypisywane jest głównie mezoporom (MILEWSKA-DUDA, 2000), a jej niezerowe wartości mogą świadczyć o ich obecności w przypadku badanych próbek.

Gęstość objętościowa analizowanych próbek węgla waha się w przedziale 1,07—1,31 t/m², materiałowa w granicach 1,26—1,37 t/m³ i mieści się w dolnym zakresie wartości przedstawianych w literaturze (1,3—1,7 t/m³; PLEWA, PLEWA, 1992). Pozostałe parametry petrofizyczne wskazują na słabą zdolność badanych węgla do przepływu płynów, o czym świadczy niska wartość średnicy progowej (rzędu 0,1 μm) czy średniej kapilary (0,06 μm). Są to parametry typowe dla skał uszczelniających. Powierzchnia właściwa (wewnętrzna) substancji węglowej badanych próbek wynosząca 2,4—4,2 m²/g zawiera się w dolnym zakresie wartości poda-

wanych w literaturze (2—300 m²/g; KOZŁOWSKI, GREBSKI, 1982).

Większa porowatość efektywna, średnia kapilara przy mniejszej powierzchni właściwej oraz histerezie są charakterystyczne dla próbek pobranych z pokładów z górnośląskiej serii piaskowcowej o podwyższonej zawartości macerałów z grupy inertynitu. Pomijając ewentualny wpływ tzw. efektu brzegowego, można sądzić, że inertynit (fuzynit, semifuzynit), zawierający makropory węglowe, pozytywnie wpływa na wielkość otwartej przestrzeni porowej, a zatem na procesy przepływu mediów w substancji węglowej. Większa powierzchnia właściwa próbek węgla pochodzących z pokładów węgla serii mułowcowej o przewadze witrinitu (kolotelinitu, kolodetrynitu) może być wynikiem przevažającej obecności mikroporów węglowych występujących w witrynie. Widoczna większa histereza (15—30%) w obrębie tych próbek wskazywać może na obecność mezopor, towarzyszących mikroporom. Obserwacja ta ogólnie potwierdza fakt występowania mezoporów głównie w węglach średnio uwęglonych, z uwagi na zmniejszone rozmiary elementów makromolekularnych i zagęszczenie struktury porowej w stosunku do węgla wysokouwęglonych, pozbawionych mezoporów (TWARDOWSKI, 1999).

Z zestawionych w tabeli 6.5 parametrów zbiornikowych węgla wynika, że przebadane próbki cechuje dobra podatność na procesy sorpcji oraz desorpcji mediów (gazów). Niestety, nie przekłada się to na zadowalającą filtrację płynów w badanych próbkach.

6.5. Przepuszczalność substancji węglowej

Jak już wspomniano, za przewodzenie mediów w pokładzie węgla odpowiedzialne są szczeliny oraz makropory. Badania laboratoryjne próbek węgla pod kątem właściwości przewodzenia płynów wykazały, że ich przepuszczalność jest szczelinowa, o czym świadczy fakt, że na ogół mniejszą przepuszczalność miały próbki charakteryzujące się większą wartością średnicy progowej.

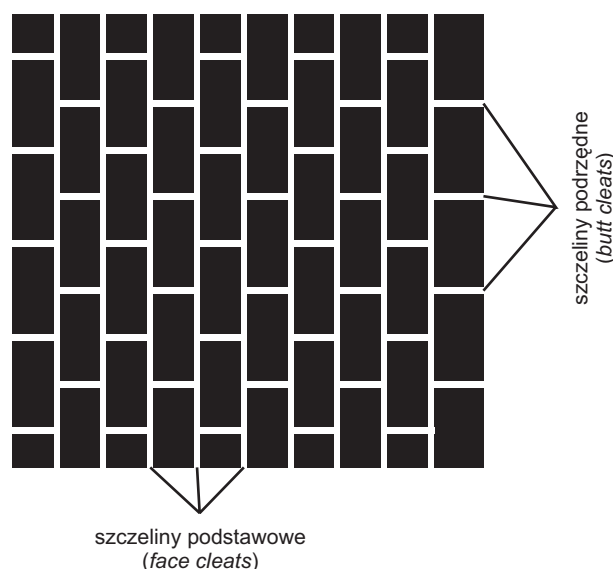
Informacje literaturowe (np. DAWSON, ESTERLE, 2010; LAUBACH *et al.*, 1998) wskazują na występowanie dwóch systemów szczelin w pokładzie węglowym, o genezie związanej z naciskami tektonicznymi na pokład w trakcie jego formowania się (procesu uwęglania):

- szczelin podstawowych (*face cleats*), uznawanych za ekstensyjne, których orientacja jest prosto-

padła do kierunku naprężeń kompresyjnych, jakim poddawany był pokład węgla podczas początkowego stadium uwęglania;

- szczelin podrzędnych (*butt cleats*), prostopadłych do szczelin podstawowych, uformowanych podczas wygaszania naprężeń oddziałujących na pokład (np. KULANDER, DEAN, 1993).

Szczeliny podstawowe (*face cleats*) są długie i przebiegają przez większą część pokładu. Dużo mniejsza długość prostopadłych szczelin podrzędnych jest determinowana odległością między szczelinami podstawowymi (rys. 6.15). Uważa się (DAWSON, ESTERLE, 2010), że szczeliny podstawowe uformowały się jako pierwsze, natomiast późniejsze formowanie się szczelin podrzędnych wygaszało z chwilą zetknięcia się ze szczelinami podstawowymi. Oprócz wymienionych systemów, wyróżnia się między innymi system szczelin tnących nie tylko pokład węgla, ale także skały otaczające (*master cleats*) (LAUBACH *et al.*, 1998).



Rys. 6.15. Szczeliny podstawowe i podrzędne w węglu (DAWSON, ESTERLE, 2010)

Powstawanie szczelin w pokładzie węgla wiązane jest również z pękaniem substancji węglowej wskutek kurczenia się, będącego efektem np. redukcji wilgotności, czy części lotnych w trakcie procesu uwęglania. Jednak procesy tektoniczne zdają się odgrywać większą rolę w formowaniu się systemów szczelin niż sam proces uwęglania (np. DAWSON, ESTERLE, 2010), gdyż współczesna orientacja tych systemów często nawiązuje do głównych kierunków tektonicznych w badanych obszarach (np. WOLF *et al.*, 2008). Kolejnym czynnikiem wpływającym na obecność oraz zagęszczenie szczelin w pokładzie jest charakter substancji węglowej determinowany obecnością warstw węgla błyszczącego (bogatego w wityrynit), który mając

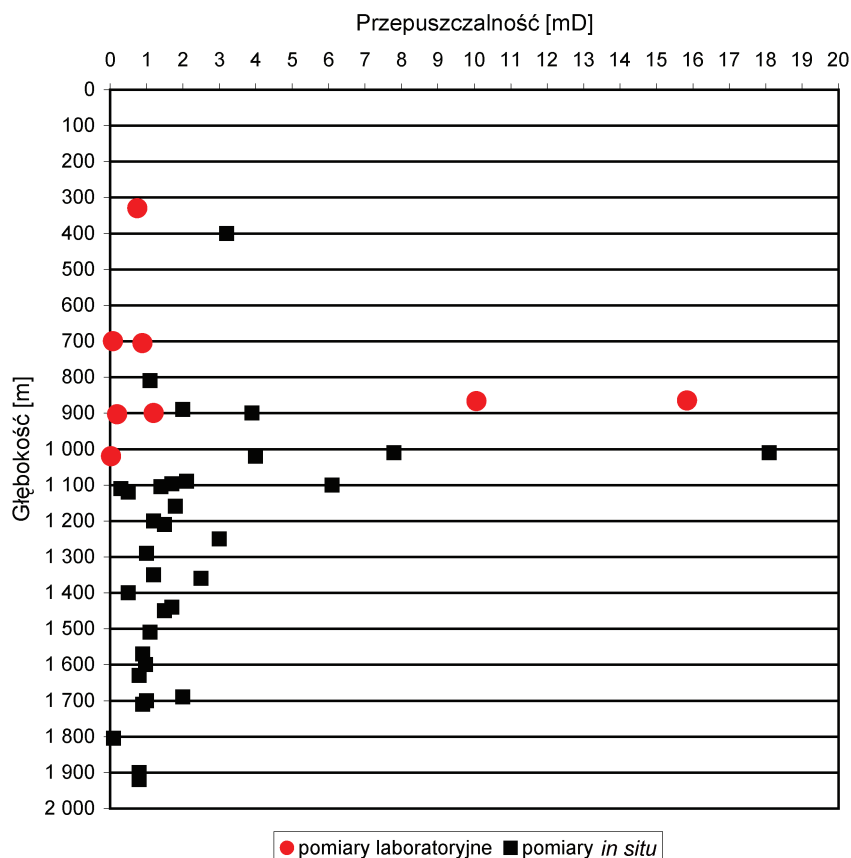
tendencję do kruszenia się pod wpływem działających sił zewnętrznych, jest predestynowany do tworzenia szczelin.

Węgiel GZW przez wiele lat traktowany był jako ośrodek praktycznie nieprzepuszczalny (podobnie jak skały iłowcowe) i nie poddawano go badaniom właściwości zbiornikowych (przepuszczalności). Dopiero w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku, tzn. z chwilą zainteresowania się metanem pokładów węgla jako kopaliną główną i podjęciem prób jego niezależnej od węgla eksploatacji otworowej, zaczęto badać przepuszczalność pokładów węgla, ponieważ jest ona jednym z najistotniejszych parametrów warunkujących powodzenie otworowej eksploatacji MPW (np.: LAUBACH *et al.*, 1998; NIEĆ, 1993; SCOTT, 2002). Generalnie znane są następujące sposoby badania tego parametru:

- badania *in situ* w otworach wiertniczych z zachowaniem naturalnych warunków ciśnienia złożowego;
- badania laboratoryjne, prowadzone po przewiezieniu pobranych próbek węgla z otworu lub wyrobiska kopalnianego do laboratorium i umieszczeniu w specjalnej aparaturze.

Drugi z wymienionych sposobów, tańszy, uchodzi za mniej wiarygodny, z powodu niezachowania naturalnego ciśnienia geostatycznego i tym samym odprężenia próbek. Może to zawyżać wyniki przepuszczalności. Uważa się także (DEISMAN *et al.*, 2010; HADRO, 2006), że badania laboratoryjne niewielkich próbek nie uwzględniają naturalnej szczelinowości skał (efekt skali), która w przypadku węgla decyduje o przepuszczalności. Rezultatem tego może być mniejsza przepuszczalność małych próbek węgla w stosunku do wyników badań *in situ*. Z tego względu w niniejszej pracy wyniki przepuszczalności uzyskane metodą laboratoryjną potraktowano jako uzupełnienie bazy rezultatów otrzymanych metodą *in situ*.

Badania przepuszczalności węgla *in situ* prowadzone były jednocześnie z wierceniem otworów poszukiwawczo-rozpoznawczych za MPW przez firmy Amoco, Texaco oraz Pol-Tex Methane w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Ich wyniki są obecnie zarchiwizowane i posłużyły do przeanalizowania zmienności przepuszczalności węgla wraz z głębokością położenia pokładów (HADRO, 2006; rys 6.16). Z powodu stosunkowo niewielkiej liczby otworów z wykonanymi badaniami omawianego parametru w badanym obszarze celowe okazało się rozszerzenie zakresu badań o otwory znajdujące się poza badanym obszarem oraz o analizy własne (laboratoryjne) przepuszczalności próbek punktowych (lokalizacja na rys. 6.17). Analizy przepuszczalności próbek punktowych wykonano w laboratorium



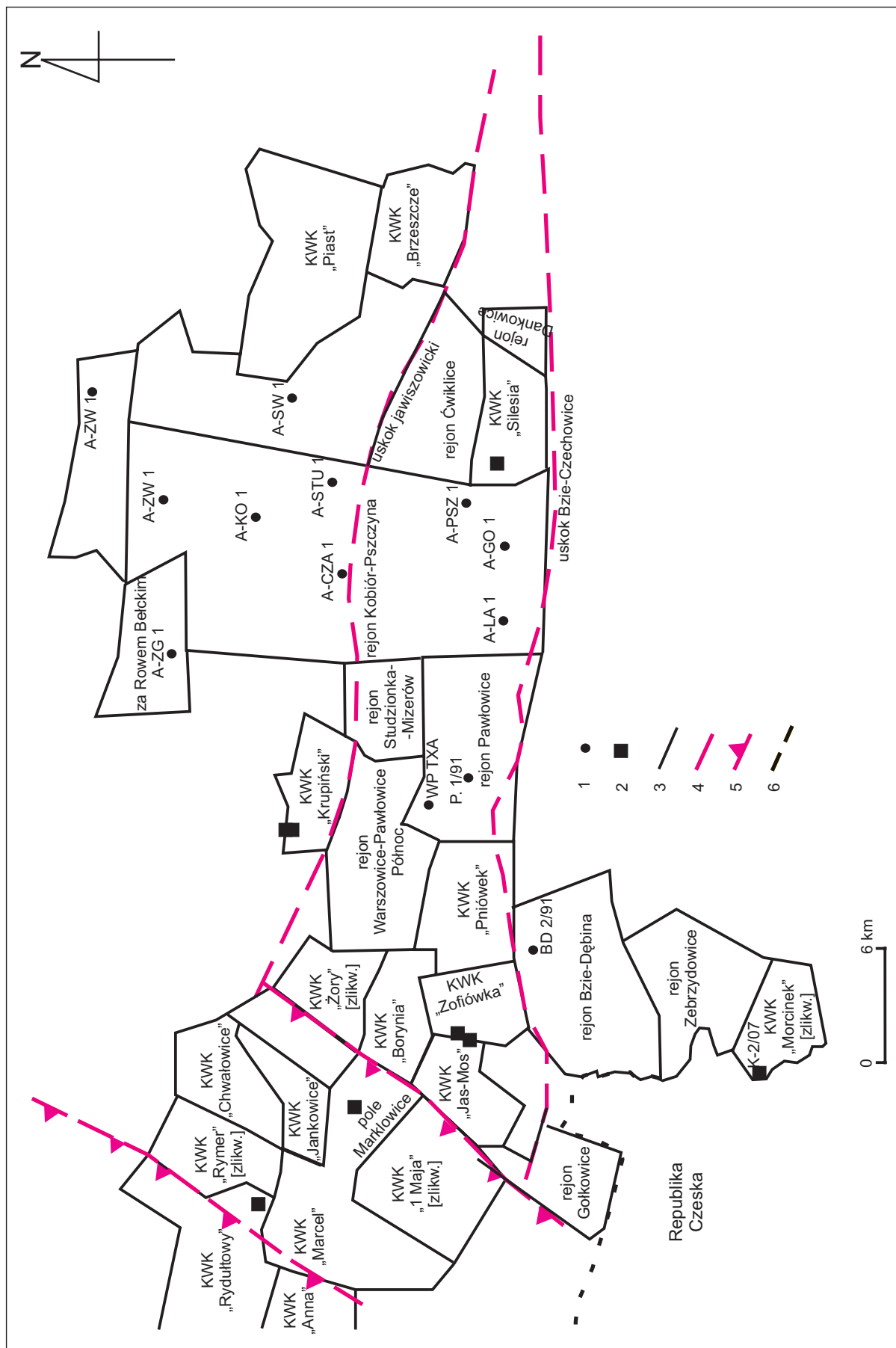
Rys. 6.16. Rozkład głębokościowy przepuszczalności węgla w GZW (HADRO, 2006; KĘDZIOR, 2011, uzupełnione)

INiG w Krakowie, na przepuszczalnościomierzu firmy Temco, używając azotu jako gazu roboczego (np. KRUCZEK, SUCH, 1994). Badaniom przepuszczalności poddano te same próbki węgla, na których przeprowadzono badania piknometryczne oraz porozymetryczne (rozdział 6.4).

Rezultaty badań laboratoryjnych przepuszczalności węgla zamieszczone w tabeli 6.6 ukazują duży rozrzut wartości od 0,07 mD do ok. 15 mD. W przypadku próbek z KWK „Zofiówka”, „Krupiński” oraz „Silesia” przepuszczalność zmierzono w dwóch kierunkach — prostopadłym oraz równoległym do uwarstwienia próbki. Dwie próbki z KWK „Krupiński” wykazały silną anizotropię przepuszczalności, główny kierunek przewodzenia mediów okazał się zgodny z uwarstwieniem (przepuszczalność ponad 10 mD i 15 mD), co jest zrozumiałe, gdyż powierzchnie uwarstwienia zwykle stanowią drogi migracji dla mediów. W kierunku prostopadłym do uwarstwienia przepuszczalność obu próbek wyniosła tylko 0,2 mD (tabela 6.6). Nieco słabszą anizotropię przepuszczalności wykazała próbka z KWK „Zofiówka”, z poziomu 900 m (1,2 mD i 0,4 mD). Zjawisko anizotropii przepuszczalności nie wystąpiło w próbce z KWK „Silesia”, z poziomu 650 m, w której w obu kierunkach parametr ten wyniósł zaledwie niecałe 0,08 mD.

Przyczyn zróżnicowania przepuszczalności próbek węgla należy prawdopodobnie doszukiwać się

w budowie petrograficznej substancji węglowej. Generalnie próbki pobrane z pokładów serii mułowcowej, bogatej w witytnit (poza próbką z KWK „Silesia”), charakteryzowały się większą przepuszczalnością niż próbki pobrane z pokładów górnośląskiej serii piaskowcowej wzbogaconych w inertytnit. Byłoby to zgodne z przytoczonymi wcześniej poglądami (np. DAWSON, ESTERLE, 2010), mówiącymi o większej predestynacji kruchych warstw wityrnowych w pokładzie do tworzenia różnych systemów szczelin (liniowa korelacja między średnimi odstępami między szczelinami a miąższością wityrnowych warstw w pokładzie o danym stopniu uwęglenia), w odróżnieniu od warstw wzbogaconych w inertytnit (durynowych), które są odporniejsze na kruszenie, a zatem zagęszczenie szczelin w ich obrębie jest mniejsze. Różnice te powinny wpływać na przepuszczalność pokładu węgla. Badania prowadzone w chińskich zagłębiach węglowych dotyczące wyboru facji węglowej o najlepszych właściwościach zbiornikowych dla gazów (ZHANG *et al.*, 2010) wskazują na fację leśną o dużym nawodnieniu, stawiając ją przed facją leśną suchą. Wstępne badania i obserwacje dotyczące przepuszczalności węgla GZW wykazały pozytywny wpływ macerałów z grupy witytnitu na przepuszczalność węgla (KĘDZIOR, JELONEK, 2010).



Rys. 6.17. Lokalizacja miejsc poboru próbek węgla, na których wykonano badania przepuszczalności (HADRO, 2006, zmodyfikowane):

1 — badania przepuszczalności *in situ*, **2** — badania laboratoryjne przepuszczalności, **3** — granice obszarów górniczych lub koncesyjnych, **4** — główne uskoki, **5** — główne uskoki, **6** — granica państwowa

Tabela 6.6. Zestawienie wyników badań laboratoryjnych przepuszczalności próbek węgla

Lp.	Miejsce pobrania próbki	Głębokość [m]	Pokład	Seria litostratygraficzna	Przepuszczalność [mD]	
					równoległa do uwarstwienia	prostopadła do uwarstwienia
1.	KWK „Marcel”	330	503-504	GSP	0,750	
2.	KWK „Silesia”	700	312	SM	0,076	0,073
3.	KWK „Zofiówka”	705	502/1	GSP	0,891	
4.	KWK „Krupiński” próbka górna*	865	329/1	SM	15,843	0,231
5.	KWK „Krupiński” próbka dolna**	867	329/1	SM	10,059	0,222
6.	KWK „Zofiówka”	900	502/1	GSP	1,194	0,439
7.	Kaczyce 2/07	903	414/2	GSP	0,190	
8.	KWK „Marcel”	1 034	712/1-2	SPA	0,023	

* Pobrana z partii stropowej wyrobiska (przodka).

** Pobrana z partii spągowej wyrobiska (przodka).

Objaśnienia: **GSP** — górnośląska seria piaskowcowa, **SM** — seria mułowcowa **SPA** — seria paraliczna.

Zróznicowanie przepuszczalności próbek może także wynikać z zaangażowania tektonicznego w badanym obszarze. Rozważając ten problem teoretycznie, kierunek największej przepuszczalności powinien wskazywać na orientację szczelin w pokładzie, która z kolei odpowiada głównemu kierunkowi tektonicznemu w badanym obszarze (np. WOLF *et al.*, 2008). Badania przeprowadzone w zachodniej Kanadzie (GENTZIS *et al.*, 2007) sugerują znaczny wpływ procesów tektonicznych na parametry przepuszczalności węgla. Wpisuje się to w ogólnie ujmowany trend zmian przepuszczalności skał w zależności od naprężeń obecnych w górotworze (np. PLEWA, PLEWA, 1992). Naciski tektoniczne (*horizontal stress*) w dużym stopniu mogą ograniczać przepuszczalność, z kolei w miejscach rozluźnień górotworu, np. w pobliżu dużych stref tektonicznych, w których górotwór jest odprężony (w obszarze badań dyslokacja Bzie-Czechowice), można oczekiwać bardziej zadowalających wyników przepuszczalności (por. KĘDZIOR, 2009c).

W miejscach badanego obszaru, zlokalizowanych poza większymi uskokami, naciski tektoniczne kierowane z zachodu (np. POZZI, 1996) powodujące zaciskanie szczelin mogą w znaczny sposób zredukować przepuszczalność węgla. Może to tłumaczyć bardzo niskie, bliskie zera, wartości tego parametru w niektórych próbkach węgla (np. KWK „Silesia”, odwiertu Kaczyce 2/07, czy w szczególności próbki z KWK „Marcel”). Nie bez znaczenia może być też wspomniany tzw. efekt skali, obecny w przypadku oznaczania przepuszczalności próbek laboratoryjnych.

Na zwiększoną przepuszczalność w rejonie stref uskokowych może z kolei wskazywać fakt wyrzutów gazu i skał w KWK „Pniówek” i „Zofiówka”. Badanie przeprowadzone w masach powyrzutowych KWK „Zofiówka” (JAKUBÓW *et al.*, 2006)

wykazało występowanie silnie zmylonityzowanego węgla o gęstej sieci spękań. Autorzy tego badania uważają, że zniszczenie mylonitu nastąpiło po istniejących wcześniej spękaniach i szczelinach towarzyszących dwóm uskokom widocznym w rejonie kawerny powyrzutowej. Ze względu na to, że szczelinowatość mylonitu jest wielokrotnie większa niż węgla nieodmienionego strukturalnie może to oznaczać wystąpienie tzw. kieszeni gazowych, czyli silnie spękanych węgli, pozwalających na gromadzenie oraz szybkie oddawanie wolnego gazu.

Zebrane rezultaty przepuszczalności pokładów węgla *in situ* oraz wyniki laboratoryjne zilustrowano na wykresie (rys. 6.16), z którego wynika, że do głębokości ok. 1 000 m rozrzut wyników jest duży (0,02—18 mD). Od głębokości 1 000 m zaznacza się tendencja malejąca przepuszczalności wraz z głębokością.

Maksymalne wartości przepuszczalności, 15—18 mD, oznaczono w przedziale głębokości 850—1 100 m. Z uwagi na znaczny rozrzut wartości przepuszczalności w tym przedziale oraz ze względu na to, że wyniki te dotyczą niewielkiej liczby próbek należy liczyć się z tym, że większa od przeciętnej przepuszczalność węgla może dotyczyć jedynie pojedynczych, lokalnych wystąpień w wyjątkowo sprzyjających okolicznościach, np. lokalnego skruszenia węgla szczególnie bogatego w wityryt (np. próbka z KWK „Krupiński”) czy wystąpienia silnie zaangażowanej strefy tektonicznej i rozluźnienia pokładów. Nie można także wykluczyć wpływu eksploatacji górniczej na odprężenie pokładów i w konsekwencji przepuszczalność próbek pobranych z wyrobisk kopalnianych.

Tendencja malejąca przepuszczalności widoczna od głębokości 1 000 m jest zapewne efektem wzrostu ciśnienia geostatycznego z głębokością i tym

samym zaciskania szczelin w węglu. Zjawisko to zaobserwowano także w innych zagłębiach węglowych (np. SCOTT, 2002).

Zaprezentowane wyniki dowodzą, że przeciętna wielkość przepuszczalności węgla w GZW nie jest wysoka i wynosi 1—3 mD. Wartość ta jest zgodna z danymi literaturowymi (MC CANTS *et al.*, 2001). Należy dodać, że wyniki przepuszczalności próbek węgla pochodzące z laboratorium Instytutu Nafty i Gazu nie odbiegają od tych wykonanych w otworach wiertniczych *in situ* i ogólnie mieszczą się w przytoczonym przedziale podanych wartości (rys. 6.16).

W świetle przytoczonych danych przystopowa strefa metanonośnych pokładów węgla może (ale nie musi) znajdować się w zakresie oczekiwanych, z racji jej płytkiego położenia, wyższych wartości przepuszczalności od oznaczonych na większych głębokościach. Z dotychczas poczynionych obserwacji zmienności przepuszczalności pokładów węgla wynika dość słaba zdolność węgla GZW do przewodzenia mediów (przeciętna przepuszczalność wynosi 1—3 mD), a wyższe wartości ograniczają się do pojedynczych miejsc. Sytuacja taka może mieć miejsce także w przypadku płytko położonych pokładów w przystopowej strefie gazonośnej, na co może mieć wpływ np. ciśnienie litostatyczne utworów mioceńskich, przykrywających badany obszar w całości, czy brak wychodni pokładów węgla na powierzchnię terenu oraz obecne poziome naciski tektoniczne skierowane z kierunków południowego (nasunięcie karpackie) i zachodniego (od strony Sudetów Wschodnich), przyczyniające się do zaciskania szczelin itp.

Z uwagi na stwierdzoną w zagłębiach węglowych na świecie zależność kierunku maksymalnej przepuszczalności oraz jej wielkości od kierunku struktur tektonicznych, zaangażowania tektonicznego obszaru, a także od charakteru petrograficznego węgla badania zmienności omawianego parametru w GZW powinny być powiązane zarówno z badaniami tektonicznymi obszaru, jak i badaniami petrograficznymi węgla.

6.6. Warunki hydrogeologiczne

Określenie warunków hydrogeologicznych, wywierających wpływ zarówno na sposób rozprzestrzenienia gazów w serii węglonośnej, jak i tryb prowadzonej eksploatacji MPW, wymaga kompleksowego potraktowania, obejmującego opis poziomów wodonośnych, chemizm oraz genezę wód.

Badany obszar znajduje się w południowej części GZW, w której węglonośne utwory karbońskie przykryte są w całości szczelnym pakietem osadów mioceńskich o zróżnicowanej litologii (por. rozdział 5). Mamy tu zatem do czynienia z piętrami wodonośnymi: czwartorzędowym, mioceńskim i karbońskim.

Parametry zbiornikowe poszczególnych poziomów opracowano na podstawie zestawień archiwalnych, zamieszczonych w dokumentacjach geologicznych poszczególnych złóż, oraz korzystając z danych literaturowych (np. RÓŻKOWSKI, 1991). Zestawienia archiwalne zostały sporządzone na podstawie hydrogeologicznych badań polowych dokonanych metodą szczyrpywania pomiarowego lub próbniakiem wgłębnym w otworach złożowych oraz w studniach gospodarskich (KRZANOWSKA, 2002).

Czwartorzędowe piętro wodonośne, o miąższości od kilku do ok. 30 m, stanowią przepuszczalne piaski i żwiry dolin rzecznych oraz piaszczyste przewarstwienia w glinach polodowcowych. Piętro to zasilane jest bezpośrednio wodami opadowymi lub, w przypadku głębszych poziomów, wodami opadowymi z przesączania. Z uwagi na występowanie szczelnego pakietu ilów mioceńskich w podłożu omawianego piętra wody z poziomów czwartorzędowych nie będą miały wpływu na reżim wód w karbonie oraz w głębszych partiach miocenu.

W mioceńskim piętrze wodonośnym do najbardziej zawodnionych należy poziom piaskowcowo-zlepieńcowej formacji dębowieckiej, występujący wyłącznie po południowej stronie dyslokacji Bzie-Czechowice, czyli w rejonach Bzia-Dębiny, Zebrzydowic oraz Kaczyc. Formacja dębowiecka o miąższości rzędu kilkudziesięciu metrów wypełnia obniżenia w spągu miocenu (rys. 4.14 i 4.15). Porowatość piaskowców wynosi ok. 30% (JURECZKO, MALICKI, 1981). Piaskowce i zlepieńce formacji dębowieckiej stanowią jednolity porowy poziom wodonośny, przykryty nieprzepuszczalnym kompleksem ilów mioceńskich formacji skawińskiej. Zasoby wód w tym poziomie są nieodnawialne. Współczynnik filtracji przepuszczalnych utworów omawianej formacji wynosi $2,8 \cdot 10^{-7}$ — $1,1 \cdot 10^{-6}$ m/s (RÓŻKOWSKI, 1991).

Pozostały kompleks mioceński ma charakter nieprzepuszczalnych ilów formacji skawińskiej, w którym wodonośne są jedynie wkładki i soczewki piaszczyste o współczynniku filtracji rzędu $8,0 \cdot 10^{-8}$ m/s (RÓŻKOWSKI, 1991), zawierające wody pod ciśnieniem (subarteryjskie). Stabilizacja zwierciadeł tych wód występuje na różnej głębokości dla poszczególnych wkładek, co sugerować może fakt braku połączenia hydraulicznego między wkładkami i soczewkami skał przepuszczalnych znajdujących się wśród ilów mioceńskich. Wody

występujące w obrębie mioceńskiego piętra wodonośnego należą do reliktowych solanek, statycznie nieodnawialnych (Rózkowski, 1971a); jedynie w górnych partiach miocenu, przy granicy z czwartorzędem, mogą występować wody atmosferyczne z przesączania.

Karbońskie piętro wodonośne składa się z kilku poziomów, odpowiadających warstwom piaskowców. Do najistotniejszych poziomów wodonośnych należą:

- poziom występujący w tzw. zwietrzelinie karbońskiej (utworach pstrych) na pograniczu z osadami mioceńskimi,
- poziom związany w występowaniem piaskowców łaziskich krakowskiej serii piaskowcowej,
- poziom stanowiący wkładki i soczewki piaskowców w obrębie serii mułowcowej,
- poziom piaskowcowy warstw rudzkich i siodłowych górnośląskiej serii piaskowcowej.

Dwa pierwsze z wymienionych poziomów mają ograniczony zasięg, pozostałe występują równomiernie w całym badanym obszarze.

Poziom występujący w zwietrzelinie karbońskiej (utworach pstrych) najbardziej rozwinięty jest w południowej części obszaru badań, w rejonach Bzia-Dębiny, Zebrzydowic i Kaczyc, nie stanowi ciągłego poziomu wodonośnego i jest hydraulicznie połączony z poziomem formacji dębowieckiej za pomocą systemu szczelin i spękań. Miąższość tego poziomu wynosi do kilkudziesięciu metrów, a zbiornikiem są silnie zerodowane utwory karbońskie o charakterze słabo zwięzłych piaskowców, zlepieńców oraz ostrokrawędzistych brekcji, które miejscami charakteryzuje znaczna wodonośność. Porowatość tych utworów waha się w granicach 10—20%. Poziom ten ma duże znaczenie w procesie migracji mediów na granicy karbonu i miocenu, i co się z tym wiąże, wpływ na gazonośność tych utworów (por. rozdział 5).

Poziom piaskowców łaziskich występuje jedynie we wschodniej części badanego obszaru, w rejonach Kobióru-Pszczyny, Ćwiklic oraz Dankowic. Piaskowce łaziskie są szeroko rozprzestrzenione, stanowią bowiem do 80% profilu krakowskiej serii piaskowcowej (GRUDNIK, WĄTOR, 2000; KĘDZIOR, WĄTOR, 2002). Piaskowce, o miąższości dochodzącej do 200 m, są gruboławicowe i stanowią jeden z najzasobniejszych w wodę poziomów. Wynika to z bardzo dobrych parametrów zbiornikowych piaskowców łaziskich, na co wskazuje wysoki współczynnik porowatości efektywnej rzędu 15—20% oraz współczynnik filtracji wynoszący ok. 10^{-6} — 10^{-4} m/s (Rózkowski, 1991). Obecność wód omawianego poziomu będzie wywierała duży wpływ na warunki występowania oraz ewentualną eksploatację metanu z większości pokładów węgla

leżących w obrębie piaskowców łaziskich (grupa 200).

Seria mułowcowa jest monotonnym kompleksem zawierającym nieprzepuszczalne utwory iłowcowe, w którym niewielkie poziomy wodonośne związane są z wkładkami i przewarstwieniami piaskowców, zawierającymi często wody pod ciśnieniem (subartezyjskie o zwierciadle stabilizującym się na poziomie 50—300 m). Seria ta buduje stropowe partie karbonu w rejonach Warszowic-Pawłowic, Bzia-Dębiny oraz Zebrzydowic i Kaczyc. Dokumentacje geologiczne wymienionych złóż podają, że wśród warstw załęskich serii mułowcowej potencjalnie zawodnione są ławice piaskowców, występujące w rejonie Warszowic-Pawłowic (MANDRELA, PEKAŁA, 2002; KRZANOWSKA, 2002, 2005):

- między pokładami 330/1 i 332/1,
- między pokładami 332/1 i 334/1,
- nad pokładami 336/1, 338/3, 344/1, 344/2, 346/2, 350/1, 401, 402/1 i 403/2;

oraz w rejonie Bzia-Dębiny i Zebrzydowic:

- między pokładami 354 i 356,
- nad pokładami 359/1, 359/3, 361, 362/1 i 362/2.

Ławice te stanowią utwory średnio lub słabo przepuszczalne (półprzepuszczalne) o współczynniku filtracji zawartym w przedziale $2,2 \cdot 10^{-5}$ m/s do $1,7 \cdot 10^{-9}$ m/s. Zarówno porowatość, jak i przepuszczalność piaskowców maleją wraz z głębokością położenia warstw piaskowcowych, co widoczne jest w postaci zróżnicowanych wyników, zwłaszcza przepuszczalności (tabela 6.7).

Piaskowce górnośląskiej serii piaskowcowej stanowią 50—75% całkowitej miąższości tej serii i charakteryzują się stosunkowo słabymi parametrami skał zbiornikowych; ich porowatość jest niewielka (1—10%), a przepuszczalność niska (0,01—0,6 mD). Współczynnik filtracji wg A. RÓZKOWSKIEGO (1991) wynosi ok. 10^{-5} m/s.

Wody karbońskiego piętra wodonośnego należą do typu wód reliktowych. Współcześnie infiltracja wód powierzchniowych i czwartorzędowych do przepuszczalnych poziomów karbonu w obszarze badań jest niemożliwa, z powodu obecności w stropie utworów karbonu grubego pakietu izolujących iłów mioceńskich. Na zawodnienie utworów karbońskich nie mają również wpływu nieodnawialne wody reliktowe występujące w piaskach wśród mioceńskich iłów (MANDRELA, PEKAŁA, 2002).

Wody poziomów mioceńskich i karbońskich charakteryzują się zmienną mineralizacją i reprezentują typ reliktowych solanek pochodzenia sedymentacyjnego (Rózkowski, 1971a, b). Ich zasolenie na ogół wzrasta wraz z głębokością i na głębokości poniżej 300 m występują wody wysokozmineralizowane, o mineralizacji ogólnej rzędu kilkuset gramów na litr. Mineralizacja wody z rejonu Ćwiklic

Tabela 6.7. Parametry zbiornikowe piaskowców serii mułowcowej w rejonie Warszowice-Pawłowice (KRZANOWSKA, 2002)

Otwór	Głębokość zalegania [m]	Porowatość efektywna [%]	Przepuszczalność [mD]
Pawłowice 1	350—1 278	0,6—17,2	0,001—123,00
Pawłowice 3	234—1 192	6,3—19,2	0,01—242,00
Pawłowice 9	239—1 145	8,4—16,4	0,01—25,00
Warszowice-Pawłowice 7	705—1 557	6,1—23,2	5,3—13,50
Warszowice-Pawłowice 9	696—967	6,5—8,8	0,1—0,13
Warszowice-Pawłowice 11	521—1 013	3,6—10,6	0,001—2,54
Warszowice-Pawłowice 15	460—1 026	4,6—13,5	0,02—2,35
Warszowice-Pawłowice 26	300—1 243	2,0—17,7	0,01—65,00

Tabela 6.8. Chemizm wody z otworu wiertniczego zlokalizowanego w rejonie Ćwiklic (dane archiwalne HADRO *et al.*, 1997)

Kationy [mg/l]		Aniony [mg/l]	
Ca ²⁺	12 215,25	NO ₂ ⁻	0,05
Mg ²⁺	3 645,00	NO ₃ ⁻	0,00
Fe	102,92	Cl ⁻	118 791,00
Na ⁺	50 960,00	SO ₄ ²⁻	0,00
K ⁺	670,00	HCO ₃ ⁻	161,65
NH ₃ ⁺	56,44		
Suma	67 649,61	Suma	118 952,70

Pozostałe oznaczenia: Sucha pozostałość [mg/l] — 190 210; pH — 6,20; Twardość ogólna [°n] — 2 546,00; Twardość węglanowa [°n] — 7,4; Twardość niewęglanowa [°n] — 2 538,6

przedstawiona w tabeli 6.8 sugeruje znaczną jej uciążliwość środowiskową, zwłaszcza że oprócz wymienionych składników w wodach występujących w poziomach karbońskich obecne są także inne, szczególnie szkodliwe, jak: azot amonowy, bar czy bor (np. PLUTA, 2005). Będzie to miało znaczenie dla ewentualnej otworowej eksploatacji MPW.

Wody z pięter karbońskiego oraz częściowo mioceńskiego uważane są za pozostałość morza mioceńskiego (np. RÓŻKOWSKI 1971a, b), a także wody opadowe pochodzące z różnych przedmioceńskich cykli hydrogeologicznych, infiltrujące w odsłonięty i urozmaicony morfologicznie górotwór karboński (np.: PAŁYS, 1971; PLUTA, ZUBER, 1995; PLUTA, 2005; PLUTA *et al.*, 2006a). W wyniku tych procesów doszło do wyparcia pierwotnych wód sedymentacyjnych

karbonu, na ogół słodkich, miejscami brakicznych, i wymiany ich na wody słone (PAŁYS, 1971). Z wodami infiltrującymi w czasie okołomioceńskim wiązana jest geneza mikrobiального metanu, o czym była już mowa w rozdziale 5.

Do powstania określonych typów genetycznych wód na terenie południowo-zachodniego i północno-wschodniego subregionu hydrogeologicznego GZW, na pograniczu których leży obszar badań, przyczynił się rozwój geologiczny tej części zagłębia i zmienne warunki hydrogeologiczne determinowane obecnością nieciągłości tektonicznych (głównie jawiszowickiej oraz Bzie-Czechowice) oraz występowaniem paleogrzebów karbońskich Pawłowic i Żor, które w znaczący sposób różnicują charakter chemiczny wód w obszarach położonych na północ i południe od nich (PLUTA, 2005).

7. Możliwości zagospodarowania metanu

7.1. Przystropowa strefa gazonośna jako cel eksploatacji

Przystropowa strefa pokładów gazonośnych występująca w rejonie Warszowic-Pawłowic znalazła się w kręgu zainteresowania inwestorów zagranicznych (spółki EurEnergy Resources), którzy w ramach przydzielonej koncesji wykonali wstępne badania i analizy pod kątem możliwości otworowego uzysku MPW (HADRO, 2006; JURECZKA *et al.*, 2008; KĘDZIOR, 2011; KWARCIŃSKI, HADRO, 2008). O atrakcyjności omawianej strefy zdecydowały następujące przyczyny:

- płytko występujące pokłady węgla (na głębokości ok. 200—500 m) dostępne za pomocą otworów wiertniczych o niedużej głębokości;
- wysoka gazonośność pokładów (ponad 4,5 m³/t csw);
- wysokie, prawie pełne nasycenie pokładów metanem;
- oczekiwana wyższa przepuszczalność pokładów węgla, z uwagi na płytkie występowanie strefy przystropowej;
- zasoby metanu zakumulowanego w obrębie strefy szacowane na ok. 5,2 mld m³ (HADRO *et al.*, 2004).

Badania i obserwacje poczynione w niniejszej rozprawie (rozdział 4—6) ukazują kolejne cechy charakterystyczne dla przystropowej strefy; i tak:

- wysoka gazonośność pokładów węgla jest determinowana przede wszystkim wykształceniem litologicznym utworów budujących strop węglonośnego karbonu, strefa wykazuje najbardziej ciągły i zwarty charakter w miejscach, gdzie nieprzepuszczalne iłowce i mułowce serii mułowcowej kontaktują się z ilastym pakietem mioceńskiej formacji skawińskiej w nadkładzie (rejon Warszowic-Pawłowic); obecność w stropie karbonu porowatych i przepuszczalnych piaskowców

łaziskich znacznie ogranicza rozprzestrzenienie strefy (rejon Cwiklic i Dankowic);

- zachodzi łączność hydrodynamiczna między przystropową strefą gazonośną a podstawową strefą głęboką za pośrednictwem systemu drożnych uskoku związanych z dyslokacją Bzie-Czechowice, o czym świadczą między innymi połączenia stref w otworach wiertniczych;
- przypuszczalnie gaz występujący w strefie przystropowej może być dwójakiego pochodzenia — bakteryjnego autochtonicznego oraz dopływającego z głębszych pokładów metanu termogenicznego, co — jak wynika z rezultatów badań prowadzonych w światowych zagłębiach węglowych (np. KINNON *et al.*, 2010) — powinno korzystnie wpływać na wydajność gazu i wody z otworów;
- po południowej stronie dyslokacji Bzie-Czechowice łączność hydrodynamiczna między strefami jest ograniczona, o czym świadczy wyraźne rozdzielanie stref w profilach otworów; poza tym przystropowa strefa gazonośna jest cieńsza i występuje o wiele głębiej niż po północnej stronie omawianej dyslokacji;
- pokłady węgla są na ogół nieregularnie wykształcone; wskaźnik stałości występowania pokładów o grubości bilansowej ($\geq 0,6$ m) zwykle jest niski i rzadko osiąga 1;
- analiza krzywych porozymetrycznych wykazała zależność rozkładu porów między innymi od składu petrograficznego badanych próbek; niezerowe wartości histerezy w przypadku pokładów serii mułowcowej, bogatej w wityrynit, wskazują na obecność mezoporów węglowych towarzyszących mikroporom;
- nasycenie pokładów metanem jest istotnie niemal stuprocentowe, ale jedynie w przypadku pokładów węgla występujących wśród iłowców i mułowców serii mułowcowej (obszar Warszowic-Pawłowic) nasycenie pokładów spada wraz z pojawieniem się w stropie utworów karbonu

Tabela 7.1. Cechy korzystne i niekorzystne przystropowej strefy gazonośnej jako celu poszukiwania i eksploatacji MPW

Cechy korzystne	Cechy niekorzystne
Wysoka gazonośność pokładów	zmienna i niska miąższość pokładów węgla oraz ich nierównomierne występowanie
Płytkie zaleganie pokładów	zmienna i na ogół nieduża miąższość przystropowej strefy gazonośnej, której spąg wyznacza izarytma metanonośności pokładów 4,5 m ³ /t csw
Ciągłość występowania strefy wg przyjętych kryteriów na znacznym obszarze rejonu Warszowie-Pawłowic	niekorzystny wpływ piaskowców łaziskich na ciągłość strefy we wschodniej części obszaru badań
Prawie pełne nasycenie pokładów metanem	niska przepuszczalność pokładów węgla (tylko lokalnie wzrastająca do wartości ponadprzeciętnych)
Łączność hydrodynamiczna z podstawową strefą gazonośną za pośrednictwem uskoku, mająca wpływ na zróżnicowanie genetyczne oraz migrację występujących gazów	znaczne zuskokowanie złoża; uskoki dzielą złoża na bloki o niewielkich rozmiarach
	warunki hydrogeologiczne — występowanie poziomów wodonosnych zawierających zanieczyszczone solanki*

* W przypadku pokładów płytkich mineralizacja wody może być niższa.

piaskowców łaziskich krakowskiej serii piaskowcowej;

- badania przepuszczalności pokładów węgla wykonane *in situ* w otworach wiertniczych oraz uzupełniające badania laboratoryjne nie potwierdzają oczekiwanych wyższych wartości przepuszczalności w obrębie przystropowej strefy; jest wielce prawdopodobne, że wartości wyższe od przeciętnych (1—3 mD) występują jedynie lokalnie;
- poziomy wodonosne występujące w obrębie omawianej strefy ograniczają się do wkładek piaskowcowych obecnych wśród iłowców i mułowców; do najbardziej zawodnionych należy poziom związany z piaskowcami łaziskimi znajdującymi się we wschodniej części obszaru, wody są wysokomineralizowane, zasolone.

Jak widać, pewne cechy sprzyjają, a pewne utrudniają poszukiwania i wydobywanie metanu z przystropowej strefy gazonośnej. W tabeli 7.1 wyszczególniono obie grupy cech.

Rozważane są generalnie dwie metody otworowej produkcji MPW: otworami kierunkowymi (horyzontalnymi, poziomymi) oraz otworami pionowymi, udostępniającymi kilka pokładów jednocześnie. W technice otworowego pozyskiwania metanu pokłady węglowe udostępnia się przez perforację. Konieczne będzie także zastosowanie sztucznego szczelinowania pokładów węgla w celu zwiększenia ich przepuszczalności i poprawy warunków migracji płynów w górotworze (naturalna przepuszczalność pokładów jest bardzo niska, rzędu 1—3 mD, i nie zapewnia przemysłowej produkcji MPW). Generalnie rzecz ujmując, działania zwiększające przepuszczalność polegają na powiększeniu rozmiarów szczelin w pokładzie węgla wokół otworu, wskutek szczelinowania hydraulicznego. W tym celu do otworu pod ciśnieniem zatłacza się

wodę zawierającą środki chemiczne oraz piasek. Zatłaczane może być także inne medium, np. pianka azotowa. W rezultacie powstają szczeliny o długości od kilku do kilkuset metrów. Ważne jest, by szczeliny zostały zorientowane prostopadle do kierunku maksymalnej przepuszczalności. Medium wypełniające szczeliny (np. piasek) ma zapobiegać ich zaciskaniu pod wpływem ciśnienia panującego w górotworze, z jednoczesnym umożliwieniem przewodzenia mediów tymi szczelinami. Dotychczas w GZW szczelinowanie hydrauliczne oraz perforację stosowały firmy Texaco i Pol-Tex Methane, używając wody z rozpuszczonymi środkami chemicznymi (żelującymi i pianotwórczymi) i piasku, oraz Metanel i Amoco. Ta ostatnia wykorzystywała w tym celu piankę azotową z piaskiem. W USA podobną technologią szczelinowania posługiwała się firma Dominion w zagłębiu Black Warrior, również używając pianki azotowej i piasku, osiągając długość szczelin w pokładzie wynoszącą ok. 85—125 m (KĘDZIOR *et al.*, 2007).

7.1.1. Eksploatacja otworami kierunkowymi

Otwory kierunkowe (horyzontalne, jedno- lub kilkupoziomowe) udostępniają pokład, skręcając przewodem wiertniczym w taki sposób, by jego część ułożona była równolegle do stropu i spągu pokładu i tym samym znacznie większa część pokładu była udostępniona niż w przypadku otworów pionowych (rys. 1.3). Technologia ta w eksploatacji MPW zastosowana została po raz pierwszy w Stanach Zjednoczonych (np. w zagłębiu Arkoma, w stanie Oklahoma) w latach dziewięćdziesiątych

XX w. i przyczyniła się do zwiększenia wydajności pozyskiwanego gazu oraz umożliwiła skuteczną eksploatację MPW w obszarach uznawanych dotąd za nieperspektywiczne.

Planując zastosowanie podobnej technologii w naszym kraju w pokładach przystropowej strefy metanonośnej, należałoby uwzględnić poszczególne cechy pokładów węgla, w celu wskazania pokładu o cechach sprzyjających eksploatacji MPW. Rejon Warszawic-Pawłowic charakteryzuje ciągłość występowania strefy oraz płytkie położenie pokładów, a także prawie pełne nasycenie pokładów metanem, ale miąższość i regularność występowania pokładów przedstawia się tu mniej korzystnie (rozdział 6.1). Regularność występowania pokładów poprawia się nieco ku wschodowi, lecz równocześnie spadają zarówno ilość metanu w pokładach, jak i stopień ich nasycenia gazem.

Przegląd miąższości, występowania oraz gazonośności pokładów w badanym obszarze pozwolił wskazać przykładowy pokład 330/1 występujący w rejonie Warszawic-Pawłowic, który poddano analizie parametrów istotnych z punktu widzenia pozyskiwania MPW otworami horyzontalnymi. Wybór tego pokładu podyktowany był stosunkowo dobrym rozpoznaniem otworami wiertniczymi oraz wyrobiskami korytarzowymi budowanej kopalni Warszawice-Pawłowice w latach osiemdziesiątych XX w., a także w miarę dużą miąższością (średnio 1,13 m), dostatecznym rozprzestrzenieniem (współczynnik $R = 0,53$) oraz gazonośnością pokładu mieszczącą się w przedziale 1,5—5,9 m³/t csw (tabela 6.1).

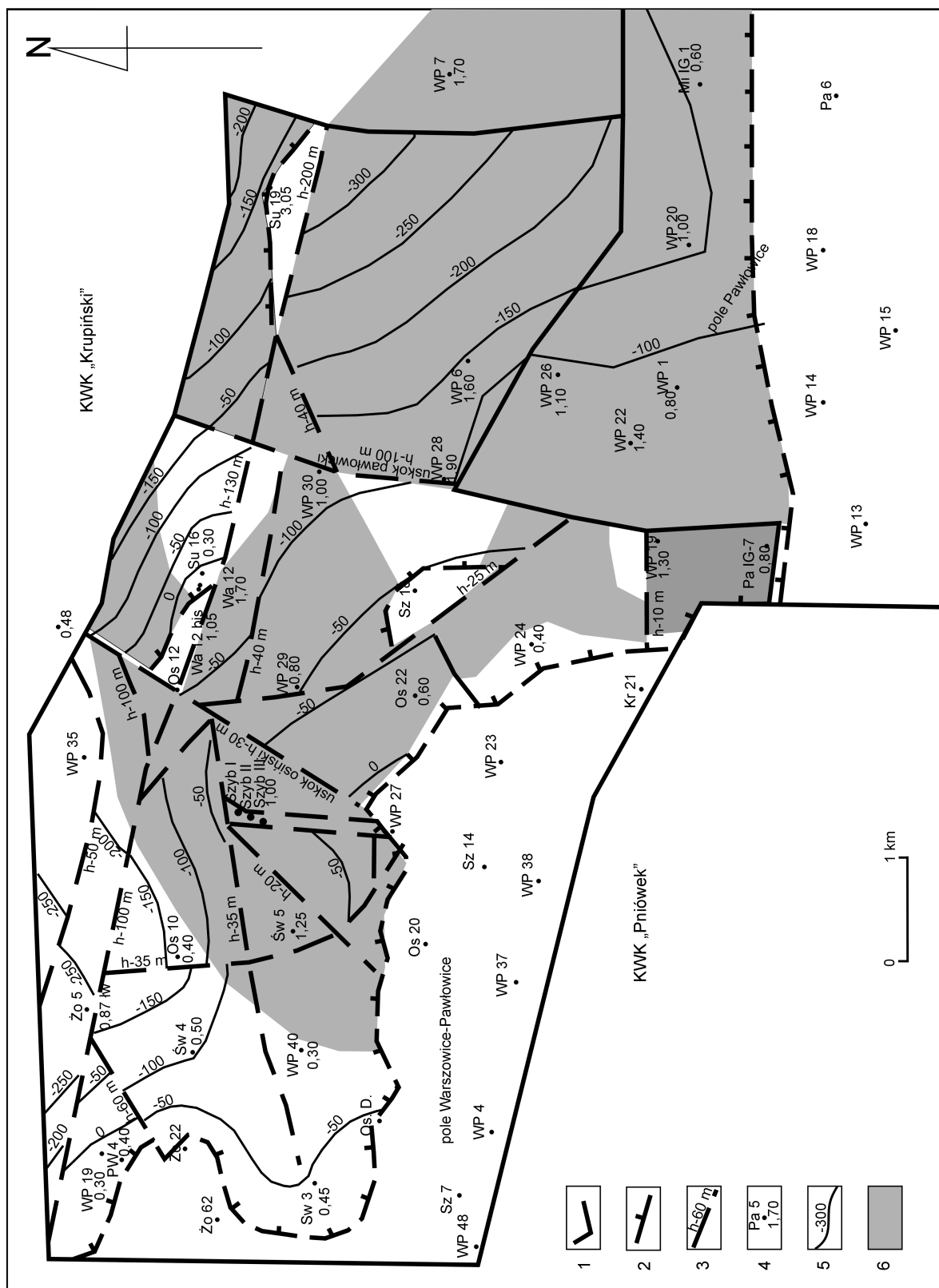
Wykształcenie pokładu 330/1 prezentuje rys. 7.1. Izohipsy spągu tego pokładu wskazują na dosyć płytkie występowanie wyznaczone przez rzędne w granicach od 0 do -300 m npm. Generalnie pokład zapada w kierunku północno-wschodnim, jednak zdarzają się zmiany kierunku upadu na północno-zachodni w zachodniej części. Pokład rozprzestrzenia się w większości rejonu Warszawic-Pawłowic, jedynie w południowej części jego występowanie ograniczone jest wychodnią. Miąższość powyżej 0,6 m występuje na dość zwartym obszarze w centralnej i wschodniej części pokładu.

Uwagę zwraca znaczne zuskokowanie analizowanego pokładu. Sieć uskokowa jest stosunkowo gęsta, wyznaczają ją uskoki o różnych systemach i zrzutach, od kilku do kilkuset metrów, dzieląc pokład na bloki o niezbyt dużych rozmiarach rzędu kilku kilometrów kwadratowych. Trzeba jednak mieć na uwadze, że rozpoznanie jedynie na podstawie otworów wiertniczych oraz pojedynczych wyrobisk nie umożliwia określenia charakteru całej sieci uskokowej. W czasie robót górniczych w ko-

palniach (np. KWK „Pniówek” czy „Krupiński”) okazało się, że faktyczna sieć uskokowa (rozpoznana w wyrobiskach kopalnianych) jest o wiele bardziej rozbudowana od stwierdzonej jedynie otworami wiertniczymi. Dlatego też istnieje duże prawdopodobieństwo, graniczące z pewnością, że w analizowanym pokładzie sieć uskokowa będzie jeszcze gęstsza.

Jak wykazały pomiary wskaźnika zuskokowania w czynnych kopalniach w środkowej części niecki głównej (KĘDZIOR *et al.*, 2007), mieści się on w granicach 20—100 m/ha, a co za tym idzie — rozmiary bloków tektonicznych są niewielkie, rzędu 5—10 ha w zachodniej i 25—60 ha we wschodniej części niecki głównej. Przewidywane niewielkie rozmiary bloków tektonicznych oraz stwierdzone zmienne kierunki i kąty upadu analizowanego pokładu stawiają eksploatację poziomymi otworami (kierunkowymi) pod znakiem zapytania. W kierunku wschodnim poprawiają się wprawdzie warunki występowania oraz zuskokowania pokładów, jednak maleje gazonośność złoża, wskutek występowania w stropie karbonu piaskowców łaziskich.

Metoda otworów horyzontalnych na świecie często stosowana jest w skojarzeniu z wierceniem poniżej równowagi ciśnień w otworze, w celu zapobieżenia zniszczeniu strefy przyotworowej, wynikającemu z inwazji płuczki do złoża, oraz powstania osadu filtracyjnego, który zatykając ściany otworu uniemożliwia przepływ gazu. Dotyczy to zwłaszcza złóż metanu pokładów węgla należących do niskociśnieniowych. Wiercenie poniżej równowagi ciśnień w otworze polega na stosowaniu jak najłżejszych płuczek (np. płuczek powietrznych), wprowadzanych do otworu pod ciśnieniem mniejszym niż ciśnienie płynów w złożu w celu przeciwdziałania zaklejaniu (klajstrowaniu) szczeliny przez płuczkę z jednej strony i umożliwienia swobodnego przepływu medium do otworu z drugiej. Z wierceniem poniżej równowagi ciśnień w otworze wiązany jest jednak niekorzystny tzw. czasowy efekt opóźnienia (*time delay effect*), polegający na destabilizacji i zawaleniu się ścian otworu, zachodzący po pewnym czasie od momentu wiercenia horyzontalnego w pokładzie. Innymi słowy, otwór w początkowym stadium zachowuje się stabilnie, jednak po pewnym czasie może ulec destabilizacji (zawaleniu ścian). Jak wykazano (np.: DEISMAN *et al.*, 2008; GENTZIS, 2009; GENTZIS *et al.*, 2009; QU *et al.*, 2011), możliwa jest destabilizacja ścian otworowych wskutek redukcji ciśnienia porowego w przewiercanych utworach (węglu), które wywiera wpływ na stabilność ścian otworu, zwłaszcza w przypadku wiercenia w węglu o dużej liczbie szczelin (kruchym). Powodem zmian (redukcji) ciśnienia porowego może być cyrkulacja



Rys. 7.1. Wykształcenie pokładu 330/1 w rejonie Warszawice-Pawłowice (MANDRELA, PEKALA, 2002)

1 — granica obszaru górniczego, 2 — wychodnia pokładu, 3 — uskok z wielkością zrzutu h podpisany po stronie skrzydła wiszącego, 4 — otwór wiertniczy, 5 — izolinia spągu pokładu, 6 — obszar pokładu o miąższości $\geq 0,6$ m

płynów zachodząca w czasie wiercenia lub zmiany ciśnienia wywieranego na przewiercane skały wskutek postępu wiercenia czy w końcu wydobywanie gazu. Zjawisko to zachodzi głównie w kruchym węglu, z powodu mniejszej zwięzłości (większej kruchości) substancji węglowej np. w stosunku do piaskowca. Zatem na destabilizację ścian narażone są otwory horyzontalne wiercone w pokładach węgla szczególnie bogatego w kruchy witynit, czyli w przypadku GZW w pokładach serii mułowcowej, obecnych w obrębie przystropowej strefy gazonośnej. Dlatego wdrażanie technologii wiercenia poniżej równowagi ciśnień w otworze w GZW wymagać będzie licznych zabiegów technicznych w celu zminimalizowania zagrożenia czasowym efektem opóźnienia.

Wobec zarysowujących się trudności we wprowadzeniu metody eksploatacji MPW za pośrednictwem otworów kierunkowych warto rozważyć testowaną już metodę otworów pionowych udostępniających kilka pokładów jednocześnie.

7.1.2. Eksploatacja otworami pionowymi

Testowana w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku metoda wydobywania MPW z zastosowaniem otworów pionowych w GZW nie przyniosła spodziewanych rezultatów, głównie z powodu braku sprzyjających czynników związanych z produktywnością (niskiej przepuszczalności pokładów). Istotną była również znaczna głębokość testowanych pokładów (poniżej 1 000 m). O wiele płytsze występowanie pokładów w strefie przystropowej, w warunkach spodziewanych korzystniejszych parametrów zbiornikowych węgla (przepuszczalności czy dyfuzyjności gazu), pozwala na rozważenie zastosowania omawianej metody również w przypadku pokładów płytkich. W odróżnieniu od otworów horyzontalnych, udostępniających pokłady w przybliżeniu prostopadle do płaszczyzn nieciągłości w złożu (uskoków), otwory pionowe wiercone są w kierunku zbliżonym do równoległego w stosunku do sygnalizowanych płaszczyzn (z wyłączeniem np. płaszczyzn poziomych, czyli nasunięć, uskoków odwróconych itp.). Są zatem w mniejszym stopniu narażone na zmiany ciągłości pokładów, co w warunkach silnie zaburzonego tektonicznie obszaru badań może być ważne.

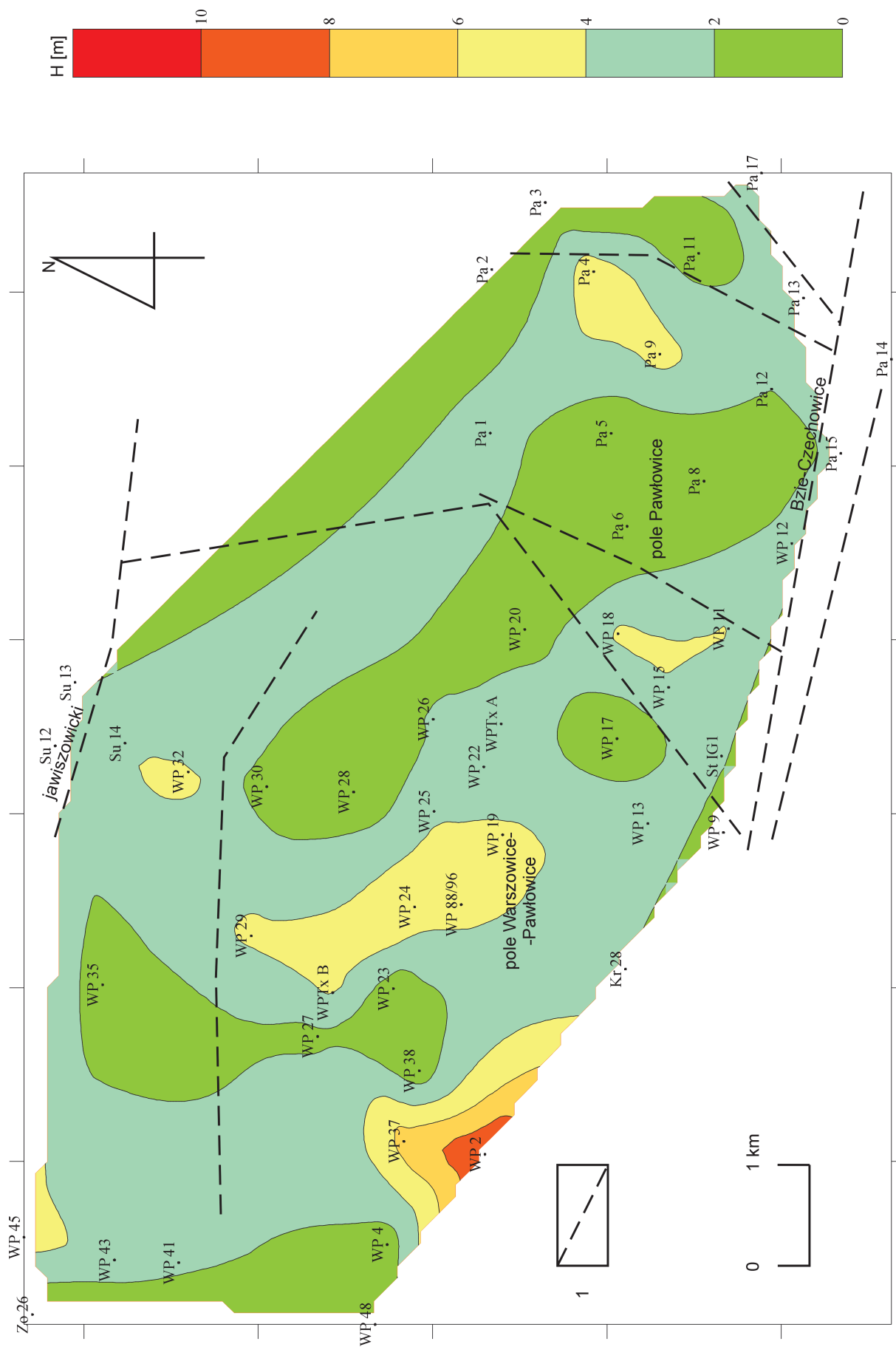
W przypadku otworów pionowych ogromne znaczenie ma między innymi sumaryczna miąższość udostępnianych pokładów, która wywiera wpływ na powierzchnię oddawania (desorpcji) gazu przez

pokład. Według badań i dotychczasowych obserwacji (np. NIEĆ, 1993), optymalne wyniki produkcji metanu osiąga się przy minimalnej sumarycznej miąższości pokładów równej 6 m (w USA eksploatuje się sumaryczne 4,5-metrowe wiązki pokładów; KĘDZIOR *et al.*, 2007). W związku z tym przeanalizowano sumaryczną miąższość pokładów węgla w otworach wiertniczych w rejonach Warszowic-Pawłowic oraz Ćwiklic-Dankowic, najbardziej perspektywicznych z punktu widzenia poszukiwań i eksploatacji MPW w strefie przystropowej.

Z przeanalizowanych 70 otworów w rejonach Warszowic-Pawłowic oraz Ćwiklic-Dankowic jedynie w 6 sumaryczna miąższość pokładów przekraczała 6 m. Interwałem głębokościowym analizowanych otworów była przystropowa strefa metanonośna wyznaczona zgodnie z przyjętymi kryteriami (rozdział 3.4). Maksymalną sumaryczną miąższość pokładów, równą 10,2 m, zanotowano w otworze Warszowice-Pawłowice 2; przeciętna sumaryczna miąższość dla całego badanego obszaru, wynosząca 3,6 m, jest prawie o połowę mniejsza od zalecanej. Warto zaznaczyć, że w rejonie Warszowic-Pawłowic jedynie w 2 otworach sumaryczna miąższość pokładów przekraczała 6 m, pozostałe 4 otwory, w których sumaryczna miąższość pokładów była większa, zlokalizowane są w rejonie Ćwiklic-Dankowic, czyli po raz kolejny potwierdza się fakt lepszych parametrów miąższości i występowania pokładów w przypadku tego rejonu. Rozkład sumarycznej miąższości pokładów w rejonie Warszowic-Pawłowic ilustruje rys. 7.2.

Kolejnym problemem, wspólnym obu metodom, są wody złożowe, pompowane z odwiertów eksploatacyjnych za pomocą pomp żerdziowych jeszcze zanim rozpocznie się przypływ metanu. Odwodnienie pokładów powoduje bowiem obniżenie ciśnienia hydrostatycznego i w konsekwencji dopływ desorbującego z pokładów gazu. Pokład węglowy traktowany jako ośrodek praktycznie nieprzepuszczalny nie jest wodonośny. Jednak woda może być obecna w szczelinach oraz spękaniach pokładu, szczególnie jeżeli kontaktuje się on ze skałą wodonośną (np. z piaskowcem) lub z powierzchnią terenu.

Najbardziej predestynowany do eksploatacji MPW pokład 330/1 sąsiaduje z potencjalnie zawodnioną warstwą piaskowca (rozdział 6.6), dlatego też narażony jest na obecność koniecznej do usunięcia wody. Z uwagi na duże zasolenie i zanieczyszczenie usuwanej ze złoża wody, w trosce o ochronę środowiska, najbardziej wskazane jest powrotne zatłaczanie do górotworu. Firma Texaco, prowadząca testy produkcyjne MPW na obszarze Warszowic-Pawłowic, rozważała możliwość zatłaczania wody złożowej do przepuszczalnych i chłon-



Rys. 7.2. Sumaryczna miąższość H pokładów węgla w obrębie przystopowej strefy gazonośnej w rejonie Warszawicko-Pawłowie (źródło danych: MANDRELA, PEKAŁA, 2002):
1 — ważniejsze uskoki

nych piaskowców oraz zlepieńców formacji dębowieckiej w rejonie Bzia-Dębiny (KĘDZIOR, 2011; NIEMCZYK, 1998).

Z analizy warunków eksploatacji MPW z płytkiej strefy gazonośnej w rejonach Warszowic-Pawłowic oraz Ćwiklic-Dankowic, zaprezentowanych w tabeli 7.1, wynika, że znalezienie obszaru wspólnego dla czynników sprzyjających pozyskaniu metanu jest zadaniem trudnym. Największą przeszkodą jest pogodzenie wysokiej gazonośności pokładów oraz wysokiego nasycenia metanem z miąższością oraz przepuszczalnością pokładów węgla; wysoka gazonośność pokładów w rejonie Warszowic-Pawłowic oraz widoczna ciągłość przystropowej strefy spowodowana obecnością pakietu iłowcowo-mułowcowego zbiega się z niską i zmieniającą się miąższością pokładów oraz zaburzeniami tektonicznymi. Lepiej i korzystniej ukształtowane pokłady w rejonie Ćwiklic-Dankowic charakteryzują się mniejszą gazonośnością oraz nasyceniem metanem, a także dużymi ograniczeniami występowania strefy, spowodowanymi zaleganiem porowatych piaskowców łaziskich w stropie utworów karbonu. Także przepuszczalność pokładów może okazać się niewystarczająca do podjęcia prób sztucznego szczelinowania również w przypadku pokładów płytkich, o czym była mowa w rozdziale 6.5.

W świetle przytoczonej dyskusji przystropowa strefa metanonośna, występująca w rejonach Warszowic-Pawłowic oraz Ćwiklic-Dankowic, jawi się — wbrew wcześniejszym oczekiwaniom (HADRO, 2006; KĘDZIOR, 2011; KWARCIŃSKI, HADRO, 2008) — jako niezwykle trudny i niepewny cel eksploatacyjny MPW.

7.1.3. Zagospodarowanie metanu w obszarze leżącym na południe od dyslokacji Bzie-Czechowice

Obszar ten, obejmujący rejony Bzia-Dębiny, Gołkowic, Zebrzydowic oraz Kaczyc i odznaczający się bardzo skomplikowanym ukształtowaniem stropu utworów karbonu, a także głębszym występowaniem przystropowej strefy gazonośnej, nie sprzyja otworowej eksploatacji MPW. Głębokie położenie pokładów (przeważnie poniżej 800 m) i w konsekwencji niska ich przepuszczalność, gęsta i skomplikowana sieć uskokowa oraz bardzo urozmaicona powierzchnia stropowa utworów karbońskich, a w rezultacie nieduża miąższość przystropowej strefy gazonośnej, w znacznym stopniu ograniczają możliwości opłacalnej otworowej eksploatacji

MPW zarówno z zastosowaniem horyzontalnych, jak i pionowych otworów eksploatacyjnych.

Ujmowanie metanu w celach komercyjnych może natomiast sprawdzić się w przypadku odmetanowania wyrobisk górniczych nowo udostępnianego pola Bzie-Dębina 1 przez Jastrzębską Spółkę Węglową (metan kopalniany). Działanie to jest bowiem niezbędne dla zapewnienia bezpieczeństwa górniczego w trakcie wydobywania wysokometanonośnych pokładów węgla. Przystropowa strefa gazonośna występująca w obszarze planowanej eksploatacji górniczej może się okazać groźna w trakcie prac udostępniających, polegających np. na głębieniu szybów, czy podczas robót przygotowawczych oraz eksploatacyjnych, ponieważ przyszłe wydobywanie węgla przebiegać będzie na poziomach 1 100 m oraz 1 300 m (CHROSCZ, 2009), a więc zaledwie kilkadziesiąt metrów poniżej omawianej strefy. Metan może być ujmowany tradycyjnym sposobem, tzn. za pośrednictwem otworów dołowych oraz podziemnych gazociągów do stacji odmetanowania, lub też może być eksploatowany za pomocą otworów powierzchniowych w celu odmetanowania wyprzedzającego wydobywanie węgla. Można także rozważyć wprowadzenie stosowanej w świecie metody poeksploatacyjnego odmetanowania zrobów (np.: KARACAN, 2009; KĘDZIOR, 2009c; SANG *et al.*, 2010).

Kolejną kwestią jest zwrócenie szczególnej uwagi na przepuszczalne skały płonne, zawierające poziomy gazu wolnego, oraz na stare zrobry KWK „Morcinek”. Poziomy piaskowcowe miocenu (badenu), zawierające przemysłowe akumulacje konwencjonalnego gazu ziemnego na terenie Polski oraz Czech (rozdział 4.4.2), mogą stanowić cel poszukiwań kolejnych złóż gazu. Prowadzona przez spółkę Karbonia eksploatacja metanu ze starych zrobów KWK „Morcinek” stanowi dowód na to, że możliwe jest stwierdzenie kolejnych wystąpień gazu w wyrobiskach powydobywczych tej kopalni oraz ich otworowe pozyskanie.

Występowanie szczególnego systemu gazonośnego w tej części GZW (rozdział 5), obejmującego zarówno metan sorbowany w pokładach węgla, jak i metan wolny w zrobach kopalnianych oraz skałach płonnych, rysuje perspektywy dalszego rozpoznawania (dokumentowania) i zagospodarowania gazu (metanu), towarzyszącego formacji węglonośnej południowej części GZW.

7.2. Propozycja rozszerzenia zakresu poszukiwań głębiej położonych pokładów dla eksploatacji MPW

Przystropowe pokłady węgla o wysokiej metanośności i prawie pełnym nasyceniu metanem stanowiły atrakcyjny cel poszukiwań, jednak dyskusja warunków eksploatacji MPW (rozdział 7.1) w obrębie przystropowej strefy gazonośnej ukazała cały wachlarz problemów, które podały w wątpliwość powodzenie otworowego pozyskania metanu. Do najistotniejszych przeszkód należały zbyt niska miąższość pokładów oraz ich wykształcenie (nie wielka powierzchnia obszarów bilansowych), a także niska przepuszczalność pokładów. Również miąższość samej strefy, wyznaczona położeniem izarytmy metanośności 4,5 m³/t csw stanowiącej spąg strefy, okazała się zmienna i tylko miejscami przyjmowała wysokie wartości (> 200 m).

Pole gazonośności górnego karbonu GZW obejmuje zasadniczo dwie strefy podwyższonej ilości metanu w złożu: przystropową oraz podstawową (głęboką). Ta druga, bez większych sukcesów, testowana była pod kątem możliwości pozyskania metanu w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku (rozdział 1.2).

W badanym obszarze testy produkcyjne MPW prowadziły firmy Amoco (rejon Kobióru-Pszczyny i Ćwiklic) oraz Texaco (rejon Warszowic-Pawłowic). Rezultaty tych testów zaprezentowano w tabeli 7.2. Wynika z nich, że ilość gazu ujętego w czasie trwania testów była zbyt mała, aby można było rozważać realną możliwość jego przemysłowego pozyskiwania. Jedną z najistotniejszych przy-

czyn takiego stanu rzeczy była — o czym wspomniano wcześniej — zbyt duża głębokość testowanych pokładów (> 1 000 m) i w konsekwencji wysokie ciśnienie złożowe, niska przepuszczalność węgla oraz znaczne niedosycenie pokładów metanem.

Przeprowadzone badania i obserwacje otworowej produkcji MPW w zagłębiu Black Warrior w USA (PASHIN, 2010) wykazały, że o jej powodzeniu w dużym stopniu decyduje ciśnienie złożowe na danej głębokości, przepuszczalność i nasycenie pokładów gazem. W przypadku niskiego ciśnienia złożowego występującego na niewielkich głębokościach (PASHIN, 2010) wystarczą niewielkie zmiany ciśnienia (także niewielkie ilości wypompowanej wody), by osiągnąć tzw. krytyczne ciśnienie desorpcji (*critical desorption pressure*), nawet jeśli pokład jest w dużym stopniu niedosycony gazem. W przypadku wysokiego ciśnienia złożowego (na dużych głębokościach) konieczna jest znaczna jego redukcja (wymagane wypompowanie dużych ilości wody), aby osiągnąć krytyczne ciśnienie desorpcji w pokładzie, nawet w niewielkim stopniu niedosyconym metanem. Osiągnięcie przez pokład krytycznego ciśnienia desorpcji umożliwia samoczynne oddawanie gazu. Niska przepuszczalność pokładu może w znacznym stopniu utrudnić odpływ z niego wody i tym samym spowolnić proces osiągnięcia krytycznego ciśnienia, co najczęściej zachodzi na głębokości większej niż 800 m. W tych warunkach niska przepuszczalność w dużym stopniu spowalnia proces odwadniania pokładu, stąd też głębokość 800 m uchodzić może za graniczną efektywnej eksploatacji MPW. Mimo że w zagłębiu Black Warrior eksploatacja prowadzona jest głębiej (do 1 200 m), w większości przypadków udane pozyskiwanie metanu odbywa się

Tabela 7.2. Wyniki testów produkcyjnych gazu z wybranych otworów firm Amoco oraz Texaco w rejonach Ćwiklice, Kobiór-Pszczyna oraz Warszowice-Pawłowice, wykonanych w latach 1994—1998 (HADRO *et al.*, 1997; HADRO *et al.*, 1998)

Nazwa otworu	Głębokość prowadzonego testu [m]	Długość trwania testu [dni]	Ilość w ciągu trwania testu		
			wydobytej wody [m ³]	ujętego gazu [m ³]	zawartość metanu w ujętym gazie [%]
Amoco-Czarków 1	1 327,30—1 451,00	64	515	3 994 (62)*	brak danych
Amoco-Frydek 1	1 320,50—1 353,00	39	316	18 209 (466)	87,74
Amoco-Goczałkowice 1	1 044,25—1 074,50	73	987	1 364 (19)	brak danych
Amoco-Łąka 1	1 200,00—1 230,00	72	166	610 (8)	> 90
Warszowice-Pawłowice TX A	1 152,70—1 362,25	127	907	29 963 (236)	90,78
Warszowice-Pawłowice TX Ase	1 159,00—1 388,00	116	2 714	40 187 (346)	90,71
Warszowice-Pawłowice TX Ane	1 186,20—1 189,25	145	1 452	42 792 (295)	90,19
Warszowice-Pawłowice TX Asw	1 116,30—1 326,40	122	1 112	23 930 (196)	90,73
Warszowice-Pawłowice TX Anw	1 127,70—1 328,90	124	1 905	35 201 (284)	91,46

* W nawiasach podano orientacyjną średnią ilość gazu ujętego w ciągu doby.

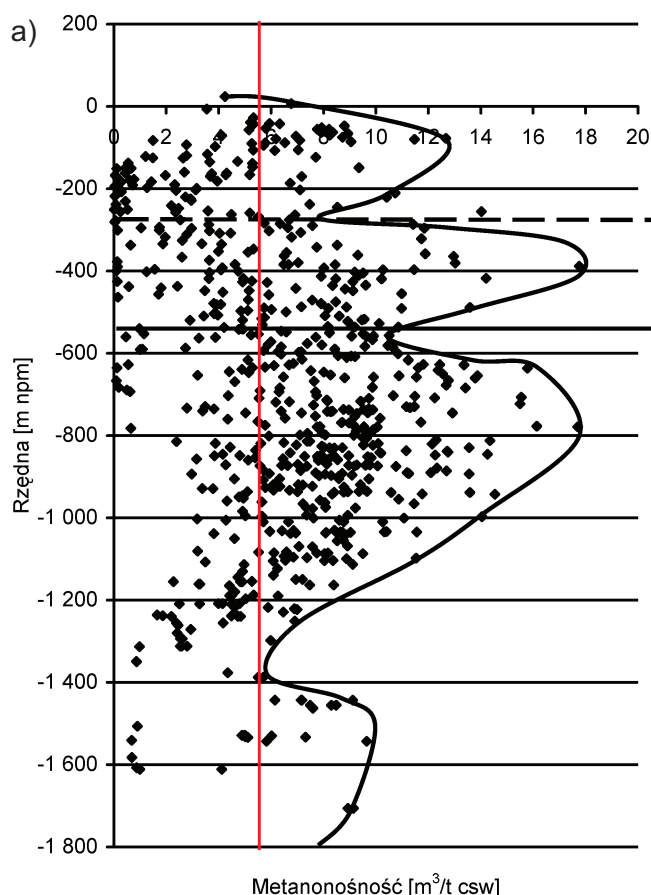
z otworów o głębokości do 800 m. Za przyjęciem granicznej głębokości 800 m przemawia także czynnik ekonomiczny, koszt wiercenia otworów płytszych bowiem jest mniejszy niż koszt wiercenia otworów głębokich (głębszych niż 1 000 m), które z zastosowaniem współczesnych technik wydobywczych MPW także mogą być brane pod uwagę.

Dotychczasowe doświadczenia w eksploatacji MPW w GZW pokazują, że graniczna głębokość 800 m (ok. -550 m npm) może być przyjęta także w warunkach zagłębia górnośląskiego, tym bardziej że wartości maksymalne przepuszczalności pokładów oznaczono w interwale 800—1 100 m (rozdział 6.5, rys. 6.16). Zatem warto zastanowić się nad rozszerzeniem zakresu poszukiwań MPW do podanej głębokości granicznej 800 m. Zaproponowany interwał głębokościowy od stropu karbonu (ok. 250 m) do 800 m obejmowałby zarówno przystopową strefę gazonośną ss., jak i górny fragment podstawowej strefy gazonośnej.

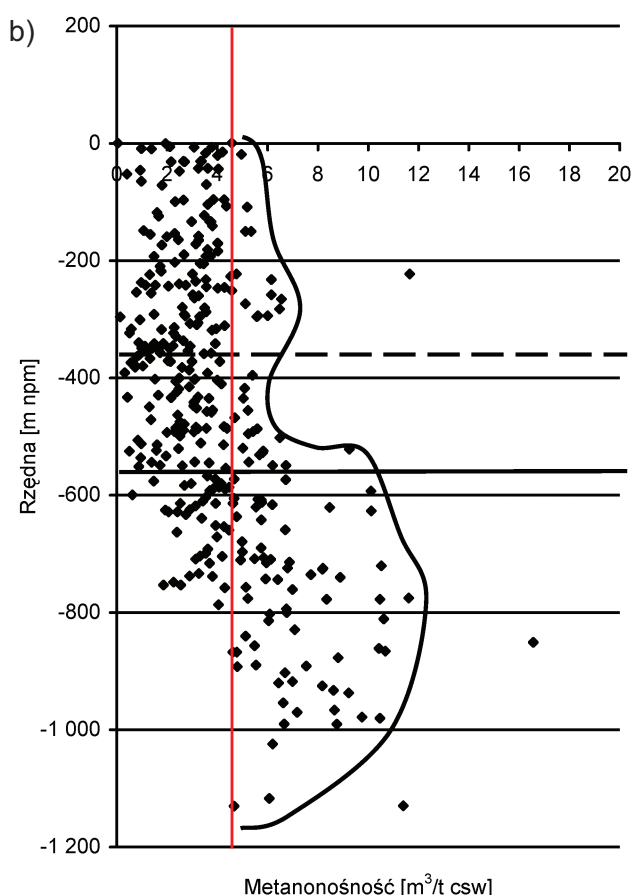
Rysunki 7.3 i 7.4 obrazują pionowy rozkład metanonośności pokładów w poszczególnych bada-

nych rejonach, przedstawiony na zbiorczych wykresach, z wielu otworów wiertniczych. Widocznych jest kilka maksimów metanonośnych w rejonie Warszowic-Pawłowic, a głębokość 800 m odpowiada drugiemu minimum metanonośnemu, a zatem oba górne maksima zawierają się w podanym przedziale głębokościowym (rys. 7.3a). Wysokometanonośne pokłady do głębokości 800 m (-550 m npm) występują również w rejonie Dankowic (rys. 7.3b). W rejonie Ćwiklic stosunkowo mało oznaczeń metanonośności $> 4,5 \text{ m}^3/\text{t}$ csw mieści się w podanym interwale głębokościowym. Rejony Bzia-Dębiny, Zebrzydowic oraz Kaczyc charakteryzują się głębokim występowaniem pokładów węgla, dlatego też wysokometanonośne pokłady w ogromnej większości plasują się poniżej wyznaczonej głębokości (rys. 7.4).

Z tego też względu do dyskusji nad możliwością pozyskania metanu z pokładów leżących do głębokości 800 m (-550 m npm) wytypowano rejon Warszowic-Pawłowic oraz Dankowic. Strop pokładów metanowych podstawowej strefy metanonośnej, wyznaczony izarytmą metanonośności



dane z 38 otworów

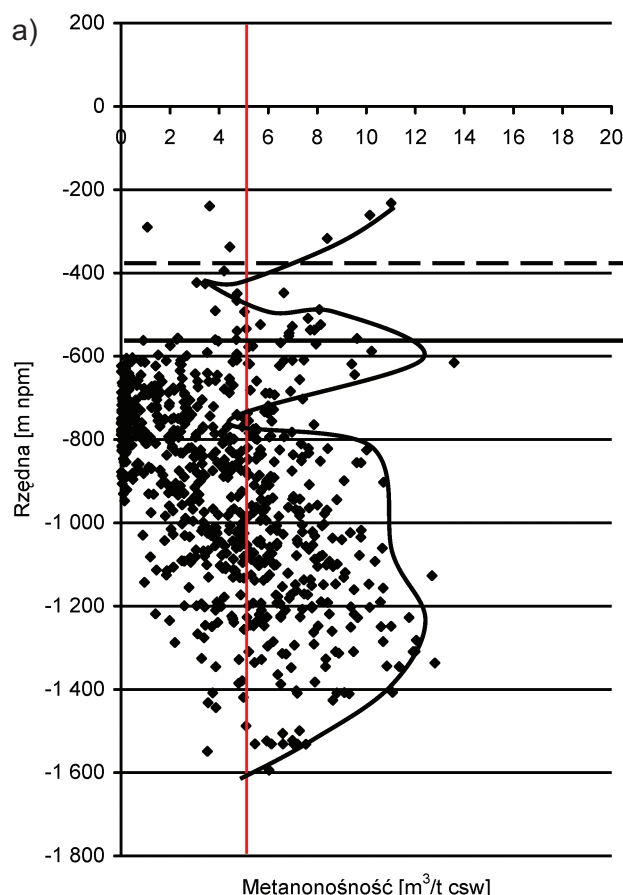


dane z 14 otworów

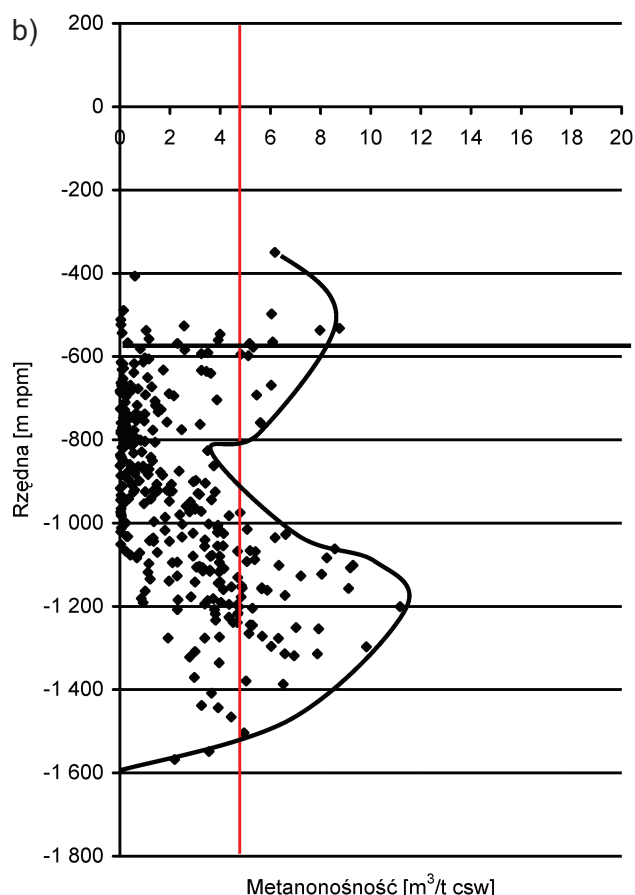
Rys. 7.3. Zmienność metanonośności pokładów w rejonach zlokalizowanych na północ od dyslokacji Bzie-Czechowice (źródło danych: KRZANOWSKA, 2002; MANDRELA, PEKAŁA, 2002; PEKAŁA, 1992c):

a — rejon Warszowic-Pawłowice, **b** — rejon Dankowice

Linia przerywaną oznaczono głębokość spągu przystopowej strefy gazonośnej, linią czarną — głębokość 800 m (-550 m npm), linią czerwoną — $G = 4,5 \text{ m}^3/\text{t}$ csw



dane z 55 otworów



dane z 31 otworów

Rys. 7.4. Zmienność metanonośności pokładów w obszarze badań (źródło danych: GODULA, JANAS, 1996; KRZANOWSKA, 2005; PEKAŁA, 1990):

a — rejon Bzie-Dębina, **b** — rejon Zebrzydowice-Kaczyce

Objaśnienia jak do rys. 7.3

4,5 m³/t csw, w tych rejonach występuje na poziomie od –350 m npm (600 m głębokości) w centralnej części rejonu Warszowice-Pawłowice do –600 m npm (850 m) w części wschodniej. Dalej na wschód strop obniża się do poziomu ok. –750 m npm (1 000 m), co spowodowane jest obecnością piaskowców łaziskich w stropie utworów karbonu (rejon Kobióru-Pszczyny i Ćwiklic), by w rejonie Dankowic podnieść się do poziomu ok. –500 m npm (750 m; KOTAS, 1994; KWARCINŚKI, HADRO, 2008). Warto nadmienić, że w wielu miejscach dochodzi do połączeń obu stref metanonośnych (przystropowej ss. i głębokiej) i często pokłady węgla w całym interwale są wysokometanonośne, co jest czynnikiem pozytywnym.

Niestety, dość spore niedosycenie pokładów metanem (rzędu 30–50%) przy ciśnieniu złożowym do 8 MPa może spowolnić proces odwadniania pokładów i osiągnięcie krytycznego ciśnienia desorpcji. Sytuację mogą poprawić punktowo oznaczona, wyższa od przeciętnej, przepuszczalność pokładów oraz aplikowane szczelinowanie hydrauliczne.

W celu oszacowania potencjalnej ilości metanu, którą teoretycznie można pozyskać zarówno z przystropowej strefy gazonośnej, jak i z pokładów węgla występujących do głębokości 800 m, posłużono się parametrem metanozasobności pokładów węgla (Z). Parametr ten jest iloczynem średniej metanonośności pokładów węgla (G), sumarycznej miąższości bilansowych pokładów węgla (o miąższości ponad 0,6 m) (H) oraz gęstości objętościowej węgla w pokładach (ρ):

$$Z = G \cdot H \cdot \rho \text{ [m}^3\text{/m}^2\text{]}. \quad (2)$$

Gęstość objętościową przyjęto jako średnią arytmetyczną wyników gęstości z poszczególnych pokładów węgla oraz przeliczono na stan suchy i bezpopiołowy (daf). Dla rejonu Warszowice-Pawłowice gęstość objętościowa węgla wynosi 1,33 t/m³, a dla Dankowic 1,35 t/m³.

Metanozasobność pokładów węgla informuje, ile metrów sześciennych metanu można teoretycznie uzyskać z 1 m² powierzchni terenu. Rozkład metanozasobności pokładów węgla w rejonie Warszowice-Pawłowice obrazują rys. 7.5 i 7.6.

W pokładach węglowych leżących w obrębie przystropowej strefy metanonośnej w rejonie Warszowic-Pawłowic (rys. 7.5) wartość metanozasobności waha się w granicach 5—111 m³/m², przeciętnie wynosi 22 m³/m², i ma w miarę stałe rozprzestrzenienie. Podwyższenia metanozasobności mają lokalny charakter.

W przypadku pokładów występujących do głębokości 800 m metanozasobność przedstawia się odpowiednio: 6—140 m³/m², przeciętnie 42 m³/m² (rys. 7.6), i — podobnie jak w przypadku interwału przystropowego — jest na ogół stała. Uwagę zwraca jedynie tendencja wzrastająca metanozasobności pokładów na północy obszaru, częściowo w strefie dyslokacji jawiszowickiej.

W rejonie Dankowic metanozasobność w interwale głębokościowym do 800 m w poszczególnych otworach wynosi 18—111 m³/m², przeciętnie 60 m³/m² (tabela 7.3) i przedstawia się korzystniej niż w rejonie Warszowic-Pawłowic. W tym przypadku niższa metanonośność pokładów rekompensowana jest większą miąższością pokładów węgla. Uwagę zwraca również fakt, że w rejonie Warszowic-Pawłowic z pokładów w interwale głębokościowym do 800 m można uzyskać przeciętnie 2-krotnie większą ilość metanu niż z pokładów występujących wyłącznie w interwale przystropowej strefy metanonośnej.

Tabela 7.3. Metanozasobność (Z) w otworach wiertniczych w rejonie Dankowic

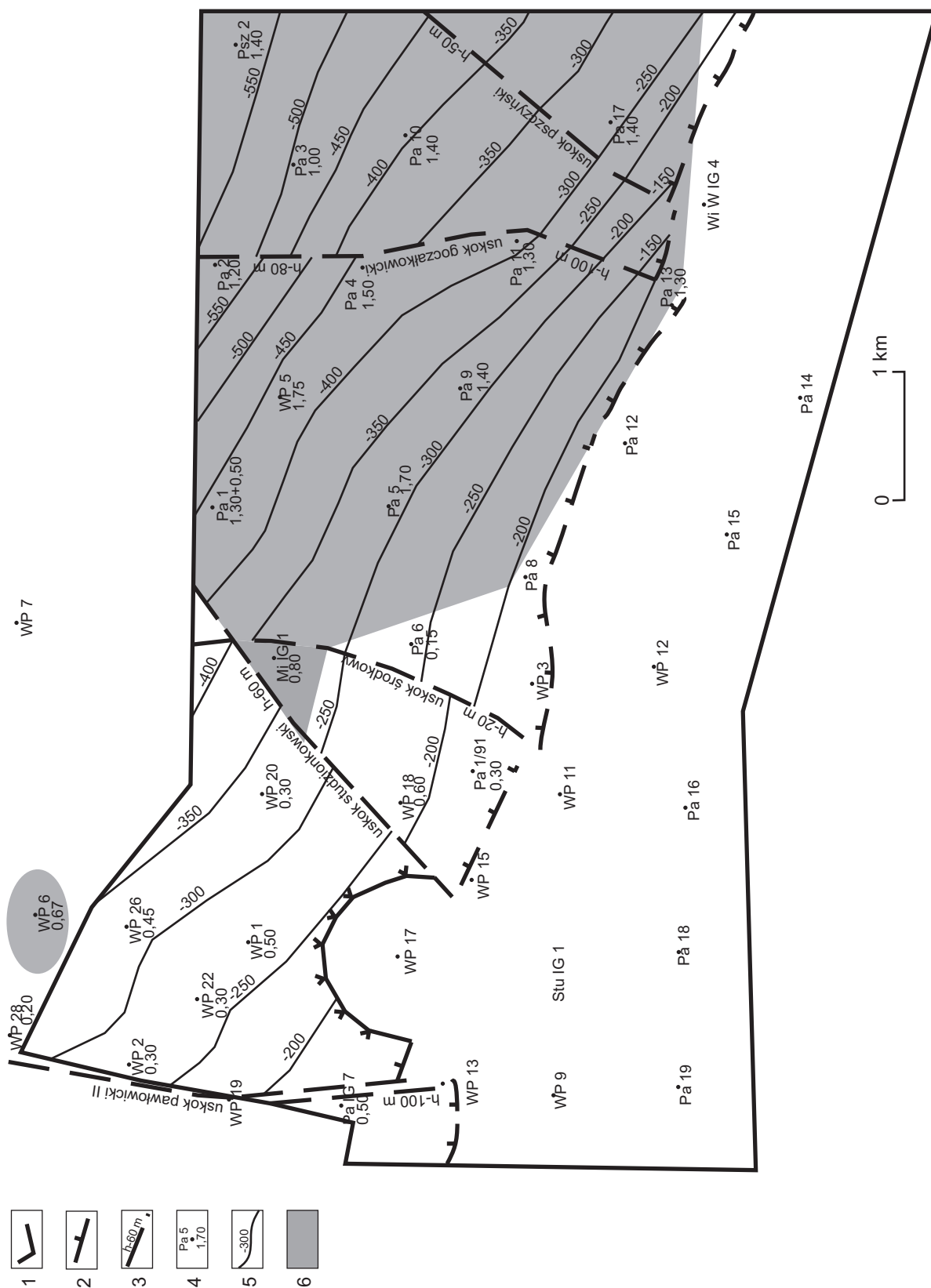
Otwór	Symbol	Z [m ³ CH ₄ /m ²]
Międzyrzecze-Bieruń 90	MB 90	34
Silesia 7	Sil 7	18
Silesia 8	Sil 8	86
Silesia 14	Sil 14	55
Silesia 16	Sil 16	111
Silesia 23	Sil 23	32
Silesia 25	Sil 25	67
Silesia 26	Sil 26	73
Silesia 27	Sil 27	31
Silesia 28	Sil 28	81
Silesia 29	Sil 29	47
Silesia 30	Sil 30	86
Wartość średnia		60

Przytoczony argument jest kolejnym, przemawiającym za celowością przeanalizowania pokładów węgla leżących do głębokości 800 m pod kątem otworowej eksploatacji MPW.

Rozważając możliwość zastosowania otworów kierunkowych, wytypowano dobrze rozpoznane pokłady węgla o sprzyjającej miąższości i warunkach występowania:

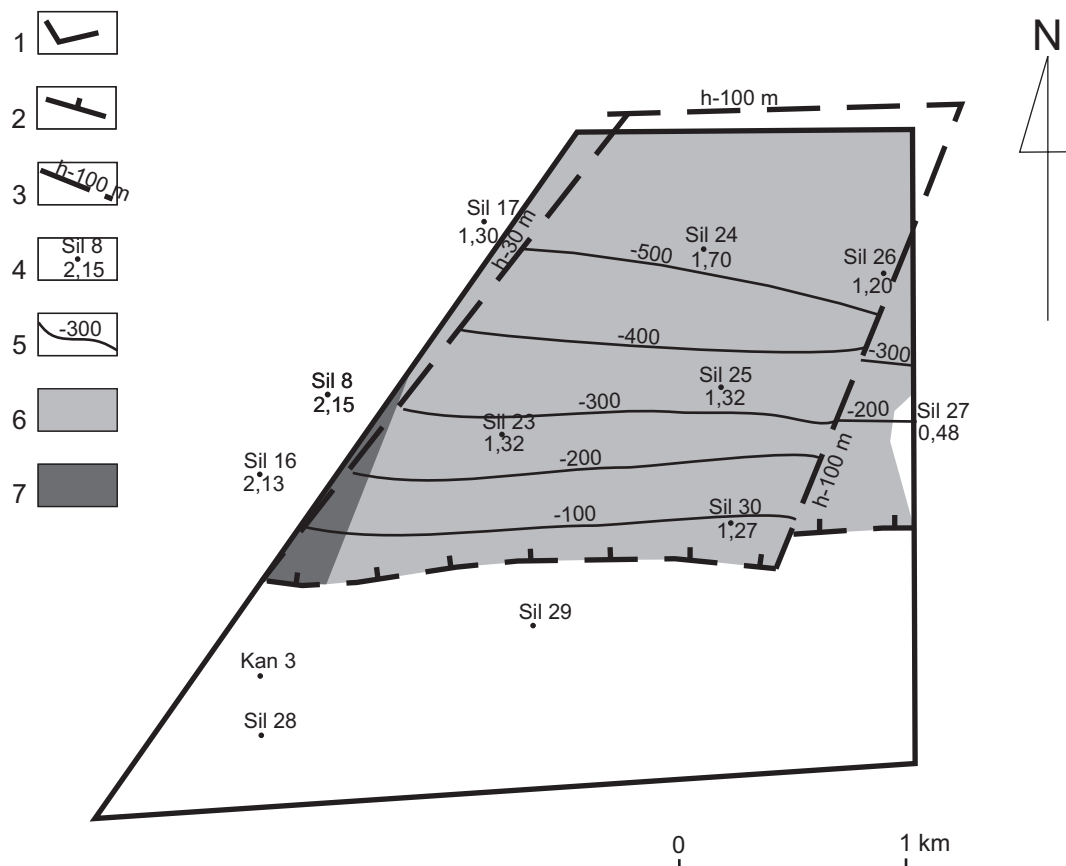
- Pokład 340/2 w rejonie Warszowic-Pawłowic (rys. 7.7) charakteryzuje się znaczną stałością występowania ($R = 0,75$), co oznacza, że pokład osiąga miąższość $\geq 0,6$ m w znacznie większej udokumentowanej części pokładu; lokalnie miąższość dochodzi do 2 m. Miejscami zdarzają się kilkudziesięciocentymetrowe przerosty i rozczepienia. Prawie cały pokład mieści się w interwale głębokościowym do 800 m (–550 m npm). Poważnym mankamentem jest rozpoznane znaczne zuskokowanie pokładu, co oznacza niewielkie rozmiary bloków tektonicznych. Metanonośność pokładu zmienia się w szerokich granicach od 0,1 do nawet 17,8 m³/t csw.
- Pokład 338/1 w rejonie Pawłowic (rys. 7.8) wykazuje stałe występowanie ($R = 0,91$); miąższość powyżej 0,6 m pokład ten osiąga w północno-wschodniej części (maksymalnie 1,80 m). Od południa ograniczony jest wychodnią. Całość pokładu występuje do głębokości 600 m. Rozpoznana w pokładzie sieć uskokowa nie jest gęsta, jednak rozpoznanie otworowe może nie uwzględniać wielu lokalnych uskoków. Pokład zapada równomiernie w kierunku NE, czyli zgodnym z zapadaniem całego złoża; jego metanonośność jest znaczna i wynosi 0,6—10,1 m³/t csw, jednak w obszarze bilansowym ($> 0,6$ m) mieści się w granicach 2—4 m³/t csw.
- Pokład 315 w rejonie Dankowic (rys. 7.9) ma największą miąższość spośród analizowanych, maksymalnie dochodzącą do 2,80 m, i wykazuje stałą miąższość ($R = 0,89$). Zapada w kierunku północnym i mieści się w całości w przyjętym interwale głębokościowym. Od południa ograniczony jest wychodnią. Dotychczasowe rozpoznanie nie wykazało gęstej sieci uskokowej, jednak w rzeczywistości sieć może być bardziej rozbudowana. Metanonośność pokładu nie jest wysoka i wynosi 0,9—3,8 m³/t csw.

Opisane pokłady węgla spełniają wymagania dotyczące otworów kierunkowych co do miąższości i stałości występowania. Niestety, podobnie jak w przypadku strefy przystropowej, problem mogą stanowić uskoki, wyznaczające bloki tektoniczne niewielkich rozmiarów. Kolejną kwestią jest wybór kierunku wiercenia otworu w pokładzie oraz szczelinowania, gdyż kierunek ten powinien być prostopadły do kierunku maksymalnej przepuszczalności (głównego systemu szczelin; RYCHLICKI, TWARDOWSKI, 2001; SIEMEK *et al.*, 1992). Wyznaczenie tego kierunku może być problematyczne ze względu na występowanie wielu obszarów o jednorodnej orientacji szczelin, czyli tzw. domen szczelinowych (*cleats domains*; KULANDER, DEAN, 1993; LAUBACH *et al.*, 1998), odzwierciedlających historię naprężeń w górotworze (rozdział 6.5). Z uwagi na skompli-



Rys. 7.8. Wykształcenie pokładu 338/1 w rejonie Pawłowic (KRZANOWSKA, 2002):

1 — granica obszaru górniczego, 2 — wychodnia pokładu, 3 — uskok z wielkością zrzutu h opisany po stronie skrzydła wiszącego, 4 — otwór wiertniczy z miąższością pokładu, 5 — izohipsa spągu pokładu [m npml], 6 — miąższość pokładu $\geq 0,6$ m



Rys. 7.9. Wykształcenie pokładu 315 w rejonie Dankowic (PĘKAŁA, 1992c):

1 — granica obszaru górniczego, 2 — wychodnia pokładu, 3 — uskok z wielkością zrzutu h opisany po stronie skrzydła wiszącego, 4 — otwór wiertniczy z miąższością pokładu, 5 — izohipsa spągu pokładu [m npm], 6 — miąższość pokładu $\geq 0,6$ m, 7 — miąższość pokładu > 2 m

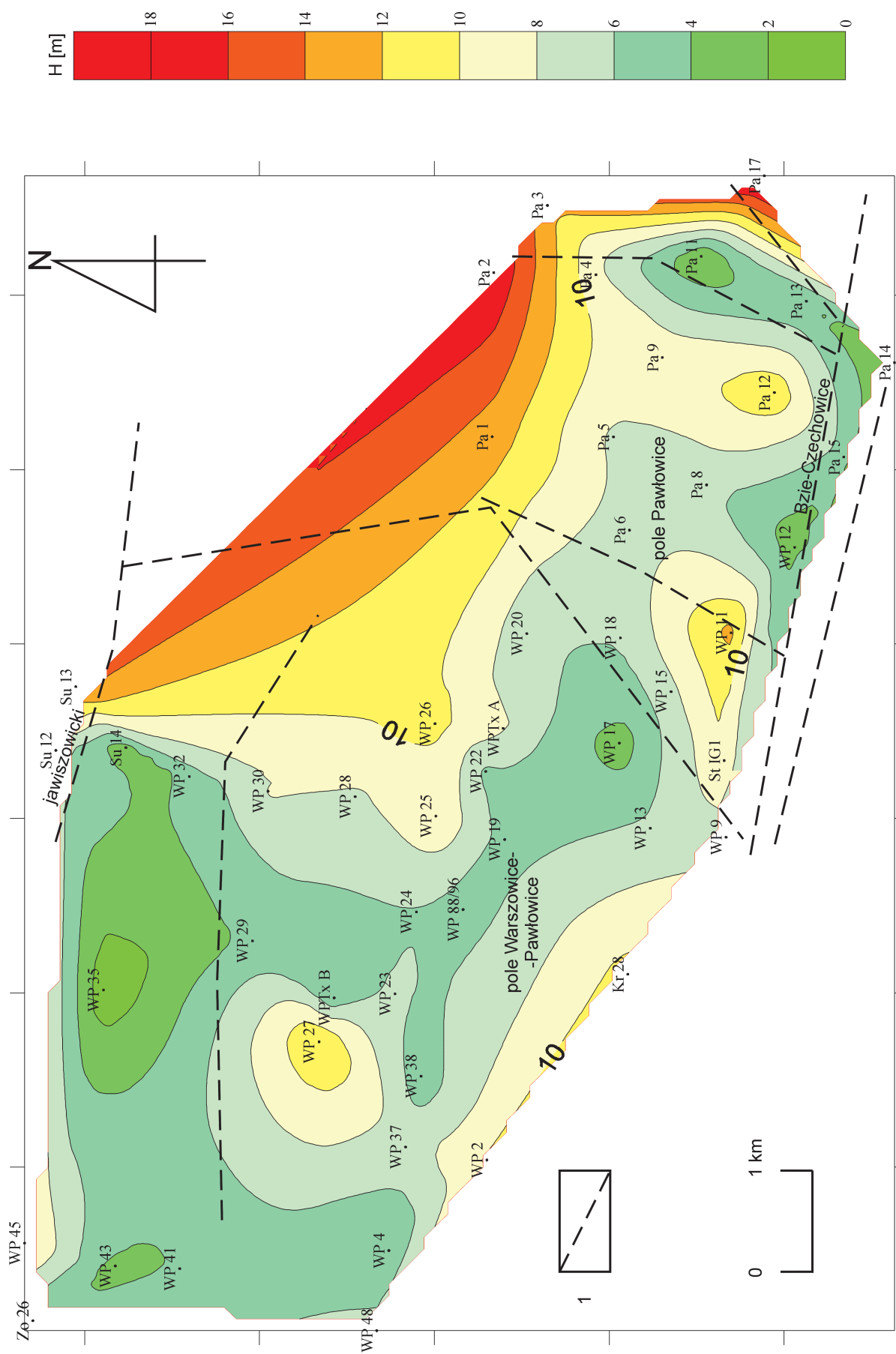
kowaną sieć uskokową w obszarze badań wyznaczenie tych domen może okazać się trudne.

Pozyskiwanie MPW za pomocą otworów horyzontalnych (kierunkowych) zostało z powodzeniem wdrożone w zagłębieniach węglowych o stosunkowo rzadkiej sieci uskokowej i spokojnej tektonice, np. w zagłębieniu Arkoma w stanie Oklahoma (USA), w którym wprowadzenie tej technologii skutkowało kilkukrotnym zwiększeniem efektywności wydobywania metanu (KĘDZIOR *et al.*, 2007).

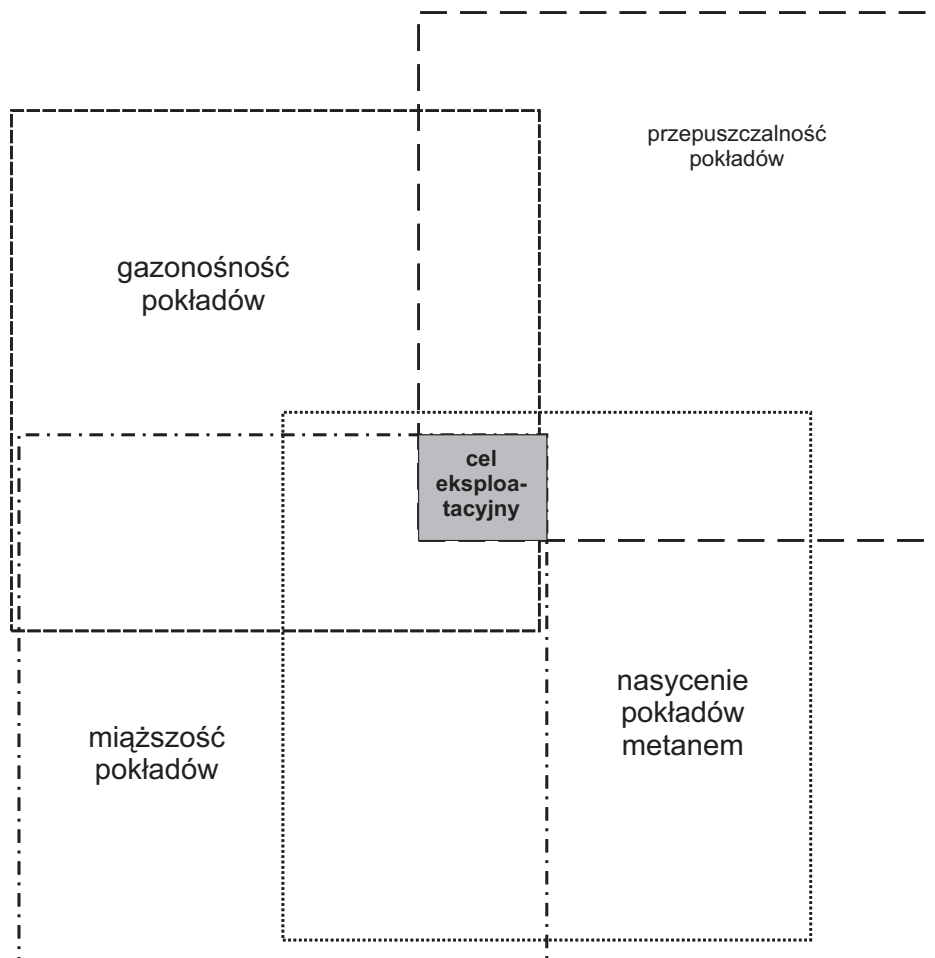
Oprócz metody otworów horyzontalnych (kierunkowych), można również rozważać zastosowanie otworów pionowych udostępniających kilka pokładów. W przypadku granicznej głębokości 800 m jest o wiele większy interwał pokładów do eksploatacji MPW. Obliczono sumaryczną miąższość pokładów węgla dla rejonów Warszowice-Pawłowice oraz Ćwiklic i Dankowice (tabela 7.4). Maksymalną sumaryczną miąższość pokładów wynoszącą 21,8 m stwierdzono w obszarze Dankowice (otwór Silesia 16), przeciętna wartość miąższości dla całego obszaru jest równa 8,7 m, co oznacza dość dużą swobodę w wyborze odcinków do eksploatacji metanu większych od zalecanych minimalnie 6-metrowych. Analiza mapy miąższości pokładów pokazuje (rys. 7.10), że generalnie miąższość wzrasta w kierunku północno-wschodnim.

Tabela 7.4. Sumaryczna miąższość pokładów w interwałach zakładanej eksploatacji MPW w wybranych otworach wiertniczych (dane za: MANDRELA, 1992; MANDRELA, PĘKAŁA, 2002; KRZANOWSKA, 2002; PĘKAŁA, 1992c)

Otwór	Sumaryczna miąższość pokładów [m]	
	strefa przystropowa	do głębokości 800 m
Warszowice-Pawłowice 9	0,7	7,2
Warszowice-Pawłowice 11	4,1	12,7
Warszowice-Pawłowice 25	3,8	10,0
Warszowice-Pawłowice 26	2,1	10,7
Warszowice-Pawłowice 27	1,6	12,3
Warszowice-Pawłowice 30	0,8	8,2
Warszowice-Pawłowice 45	5,0	10,8
Warszowice-Pawłowice WPTxA	4,2	8,4
Pawłowice 4	5,4	8,4
Pawłowice 12	2,0	11,6
Krzyżowice 28	2,0	10,7
Międzyrzecze 1	6,2	21,5
Międzyrzecze-Bieruń 90	3,7	7,5
Silesia 14	3,0	19,4
Silesia 16	7,8	21,8
Silesia 26	7,5	18,0
Silesia 28	8,2	12,1
Silesia 29	0,7	16,7



Rys. 7.10. Sumaryczna miąższość pokładów węgla 800 m w rejonie Warszawice-Pawłowice (źródło danych: MANDRELA, PEKAŁA, 2002):
1 — ważniejsze uskoki



Rys. 7.11. Schemat czynników sprzyjających pozyskiwaniu metanu z pokładów węgla. Cel eksploatacyjny plasuje się w części wspólnej zakresu oddziaływania poszczególnych czynników

Decydując się na wybór najbardziej perspektywicznego obszaru do testowania eksploatacji metanu, należy więc wziąć pod uwagę kompromis między wysoką gazonością pokładów, ich nasyceniem metanem a miąższością i sposobem występowania pokładów (redukcją miąższości, obecnością rozczepień, uskoków itp.), a także przepuszczalnością węgla (rys. 7.11). Rozszerzenie zakresu poszukiwań obszaru kwalifikującego się do eksploatacji MPW do głębokości 800 m powinno taki kompromis umożliwić w dużo większym stopniu, aniżeli w przypadku wyłącznie przystropowej strefy metanonośnej. W świetle badań i obserwacji przeprowadzonych w niniejszej pracy najbardziej obiecującymi obszarami, jeśli chodzi o możliwości pozyskania metanu, są:

- rejon Warszawic-Pawłowic ograniczony od południa wychodnią pokładu 340/2,
- rejon Pawłowic ograniczony od południa wychodnią pokładu 338/1,
- rejon Dankowic ograniczony od południa wychodnią pokładu 315.

Zakres poszukiwań i testów produkcyjnych MPW powinien obejmować zarówno przystropową

strefę metanonośną, jak i strefę podstawową do głębokości granicznej 800 m. Innymi słowy, eksploatacja przystropowej strefy metanonośnej może przynieść wymierne rezultaty jedynie wtedy, gdy rozpatrywać się ją będzie razem z głębiej leżącymi pokładami węgla.

Należy również mieć na uwadze, że przeszkody we wdrożeniu technologii otworowego pozyskania MPW omówione przy okazji przystropowej strefy gazonośnej (rozdział 7.1) mogą wystąpić także w przypadku pokładów głębszych (do głębokości granicznej 800 m), ponieważ ciągle są to pokłady serii mułowcowej, a więc skomplikowane pod względem miąższości i występowania, z przewarstwieniami skały płonnej, z obecnymi poziomami wodonośnymi w piaskowcach między pokładami węgla oraz bogate w kruchy wityrynit skłonny do mechanicznego kruszenia, co będzie miało znaczenie w przypadku zachowania stabilności ścian otworu. Problemy te wymagają dalszych badań i testów zmierzających do ich rozwiązania.

Oprócz zaproponowanych miejsc wydobywania MPW, wytypowanych między innymi na podstawie regularności występowania pokładów węgla, warto

rozważyć także strefy uskokowe, w szczególności Bzie-Czechowice oraz Jawiszowicką, ponieważ w ich obrębie mogą występować rozluźnione strefy w pokładach węgla o prawdopodobnie dużej przepuszczalności. W wymienionych strefach mogą być obecne tzw. kieszenie gazowe, zawierające nagromadzenia metanu wolnego (rozdział 6.5), których wydobywanie może być mniej kłopotliwe technologicznie niż wydobywanie metanu sorbowanego w obszarach o niskiej przepuszczalności pokładów węgla.

W przyszłości, po zakończeniu eksploatacji MPW, otwory mogą być nadal wykorzystywane, np. do zatłaczania innych gazów (sekwestracji CO₂) lub magazynowania gazu ziemnego (metanu), azotu czy też helu. Działania takie, dotyczące pokładów węgla, są praktykowane w niektórych krajach (np. USA) bądź są przedmiotem licznych badań międzynarodowych (np. PIZARRO GARCÍA *et al.*, 2010; IZADI *et al.*, 2011). Otwory po eksploatacji MPW mogą również służyć jako geogeneratory do podziemnego zgazowania węgla w złożu, a następnie jako zbiorniki do podziemnej sekwestracji CO₂ (np. KWARCIŃSKI, HADRO, 2008).

8. Podsumowanie

Możliwości pozyskiwania MPW z przystropowej strefy gazonośnej przeanalizowano na podstawie gazonośności złożeń, wykształcenia pokładów węgla jako podstawowych akumulatorów metanu oraz parametrów zbiornikowych węgla.

Gazonośność pokładów węgla znajdujących się w obrębie przystropowej strefy gazonośnej wykazała znaczną zmienność, uzależnioną w dużej mierze od litologii utworów występujących w stropie węglonośnych utworów karbonu i nadkładzie miocenijskim, tektoniki uskokowej, a mniej wyraźnie od morfologii stropu węglonośnych utworów karbońskich. Rejon Warszawic-Pawłowic cechuje się największą gazonośnością pokładów oraz najpełniejszą zawartością strefy, z uwagi na występowanie pakietu iłowcowo-mułowcowego warstw załęskich w stropie utworów karbonu oraz iłów miocenijskich formacji skawińskiej leżących niezgodnie powyżej. Pewne przesłanki pozwalają przypuszczać, że dogodnymi obszarami akumulacji metanu mogą być partie grzbietowe oraz skłon paleogrzbietu Pawłowic, towarzyszący strefie uskokowej Bzie-Czechowice i dodatkowo urozmaicony systemami paleodolin wciosowych. Pozostałe rejony charakteryzują się o wiele mniejszą gazonośnością oraz rozczłonkowaniem strefy, czego najbardziej prawdopodobną przyczyną jest występowanie porowatych i przepuszczalnych piaskowców łazickich w partii stropowej karbonu (rejony Ćwiklice, Dankowice) lub utworów gruboklastycznych na granicy karbonu i miocenu, a także piaskowcowo-zlepieńcowych formacji kłodnickiej oraz dębowieckiej w miocenie (rejony Bzia-Dębiny, Zebrzydowice i Kaczyc).

Analiza rozprzestrzenienia przystropowej strefy gazonośnej w odniesieniu do przebiegu uskoków oraz jej połączeń z podstawową (głębką) strefą gazonośną pozwala przypuszczać, że przy stropie karbonu mamy do czynienia z mieszaniną dwóch typów genetycznych gazów — miejscowego mikrobiального, wytworzonego w epoce okolo-miocenijskiej

wskutek redukcji CO₂, oraz dopływającego uskoki metanu termogenicznego. Potwierdzeniem tego przypuszczenia może być fakt wysokiego (ponad 75%) nasycenia pokładów metanem w obrębie serii mułowcowej. Dotyczy to rejonów położonych po północnej stronie dyslokacji Bzie-Czechowice.

Na południe od wspomnianej dyslokacji charakter przystropowych akumulacji metanu ulega zmianie. Przystropowa strefa zyskuje bardziej samodzielny charakter, staje się cieńsza i sporadycznie łączy się ze strefą podstawową, a także jest o wiele bardziej nasycona metanem wolnym występującym zarówno w przepuszczalnych utworach karbonu, jak i miocenu. Z tego też względu zaproponowano możliwość zdefiniowania specyficznego systemu gazonośnego w tej części zagłębia, obejmującego gazonośne pokłady węgla oraz skały płonne. W tym kontekście przystropowa strefa metanonośna byłaby fragmentem większego kompleksu gazonośnego, funkcjonującego w obrębie węglonośnego karbonu (GZW) oraz miocenu (zapadlisko przedkarpackie).

Pokłady węgla kamiennego, stanowiące specyficzne skały zbiornikowe metanu, zostały przebadane pod względem wykształcenia (miąższości), parametrów fizykochemicznych oraz właściwości zbiornikowych. Z uwagi na doświadczenia krajów o rozwiniętym przemyśle wydobywczym MPW (USA, Australia), potwierdzające skuteczną eksploatację MPW z głębokości do ok. 800 m, przeanalizowano parametry pokładów węgla jedynie z rejonów zlokalizowanych na północ od dyslokacji Bzie-Czechowice, ze względu na płytsze występowanie stropu utworów karbońskich.

Analiza miąższości i regularności występowania pokładów węgla wykazała, że na ogół odznaczają się one średnią stałością występowania (współczynnik R rzadko osiągał wartość 1), przy czym stopień wykształcenia pokładów (stała miąższość, regularność występowania) zwykle wzrasta w kierunku wschodnim i w rejonie Dankowic jest bardziej ko-

rzystny. Niestety, gazonośność pokładów w tym rejonie jest niższa.

Właściwości zbiornikowe węgla wyrażone przez nasycenie pokładów metanem, porowatość oraz przepuszczalność wykazują zależność od składu petrograficznego węgla, stopnia uwęglenia pokładów oraz tektoniki uskokuwej. Porowatość węgla oraz powiązane z nią parametry, takie jak: gęstość materiałowa i objętościowa, średnica progowa oraz histereza, wykazują zależność od litostratygrafii utworów karbońskich. Pokłady przystropowej strefy gazonośnej przynależne w ogromnej większości do serii mułowcowej (bogatej w kruchy wityrynit) cechuje na ogół mniejsza porowatość efektywna oraz większa powierzchnia właściwa i histereza w stosunku do pokładów górnośląskiej serii piaskowcowej (bogatej w inertynit), co może wskazywać na bardziej skomplikowane warunki przepływu mediów w tej pierwszej. Wyniki przepuszczalności pokładów węgla nie potwierdziły jednoznacznie oczekiwanych podwyższonych wartości tego parametru w obrębie przystropowej strefy gazonośnej. Wyższa od wartości przeciętnych (1—3 mD) przepuszczalność pokładów, zanotowana w przedziale głębokości 800—1 100 m, ma lokalny charakter i ogranicza się do miejsc szczególnie podatnych na naturalne procesy kruszenia węgla (bardzo bogatego w wityrynit lub znajdującego się w rozluźnionej i odprężonej strefie tektonicznej).

Warunki hydrogeologiczne wyrażone obecnością poziomów wodonośnych w piaskowcach karbońskich oraz poziomach mioceńskich będą sugerowały obecność wody także w szczelinach i spękania pokładów węgla występujących wśród zawodnionych piaskowców, co będzie wywierało wpływ na postęp eksploatacji MPW oraz środowisko naturalne, gdyż wody złożowe wykazują znaczne zasolenie oraz zanieczyszczenie substancjami toksycznymi.

Nałożenie na siebie parametrów gazonośności złoża, regularności występowania pokładów węglowych oraz właściwości zbiornikowych węgla dowodzi, że miejsca o najkorzystniejszych wielkościach poszczególnych grup parametrów pod kątem otworowej eksploatacji MPW nie pokrywają się z sobą. Wysoka gazonośność złoża zachodniej czę-

ści obszaru badań nie nakłada się na korzystną miąższość oraz regularność pokładów części wschodniej. Na ogół niska przepuszczalność pokładów węgla oraz znaczne zuskokowanie złoża w bardzo dużym stopniu utrudnia proces odwodnienia pokładów oraz sztucznego szczelinowania, a także wydobywanie MPW za pomocą otworów kierunkowych. W tym względzie przystropowa strefa gazonośna jawi się jako niepewny i niezwykle trudny cel eksploatacyjny MPW.

Rozważono zatem możliwość rozszerzenia zakresu poszukiwań głębiej położonych pokładów dla eksploatacji MPW, przyjmując graniczą głębokość równą 800 m. Zarówno sumaryczna miąższość pokładów węgla, jak i metanozasobność w tym interwale głębokościowym są większe oraz łatwiej jest wytypować obszary wspólne, kompromisowe między gazonośnością złoża, dogodnym dla eksploatacji występowaniem pokładów węgla (miąższością) a właściwościami zbiornikowymi. Wybór obszarów sprzyjających ewentualnej otworowej eksploatacji MPW w rozszerzonym interwale głębokościowym sugeruje, że przystropowa strefa gazonośna może być dogodnym celem eksploatacyjnym MPW razem z głębiej występującymi pokładami węgla w obrębie górnej części podstawowej strefy gazonośnej. Łączność hydrodynamiczna między przystropową a głęboką strefą gazonośną (tzn. między 1 a 2a kompleksem systemu gazonośnego) oraz płytkie położenie stropu utworów karbonu ograniczają cel poszukiwań do rejonów położonych po północnej stronie dyslokacji Bzie-Czechowice (Warszowice-Pawłowice oraz Dankowice).

Mimo sygnalizowanych w rozdziale 7 trudności technicznych w eksploatacji MPW, warto rozważyć możliwość wznowienia testów produkcyjnych metanu w proponowanym interwale głębokościowym. Może to bowiem przybliżyć wszcęcie przemysłowej produkcji gazu z węglowych pól dziewiczych, co z jednej strony pozytywnie wpłynie na bilans energetyczny regionu, z drugiej zaś — przyczyni się do jeszcze lepszego rozpoznania warunków gazonośności tej części GZW, a to z kolei będzie miało konkretny wymiar poszukiwawczy MPW oraz bezpieczeństwa górniczego w nowo udostępnianych polach wydobywczych węgla kamiennego.

Literatura

- ALEXANDROWICZ S.W., 1963: *Stratygrafia osadów mioceńskich w Zagłębiu Górnośląskim*. W: „Prace Instytutu Geologicznego”. Nr 39. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne.
- ALEXANDROWICZ S., 1964: *Przejawy tektoniki mioceńskiej w Zagłębiu Górnośląskim*. Acta Geol. Pol., 14, s. 175—231.
- ALEXANDROWICZ S., SIEDLECKI S., 1960: *Osady pstręgo piaskowca w okolicach Rybnika*. Roczn. Pol. Tow. Geol., 30, 2, s. 169—201.
- ARAVENA R., HARRISON S.M., BARKER J.F., ABERCROMBIE H., RUDOLPH D., 2003: *Origin of methane in the Elk Valley coalfield, southeastern British Columbia, Canada*. Chem. Geol., 195, s. 219—227.
- BARKER C., 1987: *Development of abnormal and subnormal pressures in reservoirs containing bacterially generated gas*. The AAPG Bull., 71, s. 1404—1413.
- BARROW G.M., 1978: *Chemia fizyczna*. Warszawa: PWN.
- BERGER J., NOWAK E., 1998: *Methane recovery by drilling with use of in-mine and surface drainage boreholes in coal mines of CIC S.A. of Jastrzębie. International Conference on „Coal-bed Methane Technologies of Recovery and Utilization”*. Katowice: Central Mining Institute, s. 322—332.
- BOGACZ W., KOTARBA M., KRACH J., 1984: *Cechy strukturalne serii węglonośnej południowej części Rybnickiego Okręgu Węglowego*. Roczn. Pol. Tow. Geol., 54, 3/4, s. 361—377.
- BOGACZ W., KROKOWSKI J., 1981: *Rotation of the basement of the Upper Silesian Coal Basin*. Roczn. Pol. Tow. Geol., 51, s. 361—381.
- BOROWSKI J., 1965: *Zagrożenia gazowe w Rybnickim Okręgu Węglowym w świetle badań geologicznych*. Prz. Geol., 5, s. 192—196.
- BOROWSKI J., 1968: *Problem uwęglenia pokładów i pochodzenia metanu na tle wulkanizmu w południowej części Zagłębia Górnośląskiego*. Prz. Gór., 4, s. 165—172.
- BOROWSKI J., 1975: *Badanie gazonośności pokładów węglowych z zastosowaniem nowych metod*. W: „Prace Głównego Instytutu Górnictwa”. Komunikat nr 645. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- BOROWSKI J., PIŁAT T., 1968: *Przejawy wulkanizmu w karbonie kopalni „Jastrzębie” i „Moszczenica” na tle niektórych czynników geologicznych*. W: „Prace Głównego Instytutu Górnictwa”. Komunikat nr 434. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- BOROWSKI J., SOSNOWSKI M., 1977: *Zjawiska związane z dużą głębokością zalegania pokładów węgla w północno-wschodniej części Rybnickiego Okręgu Węglowego*. Prz. Gór., 7, s. 402—407.
- BOSSOWSKI A., 1994: *Możliwości występowania metanu w pokładach węgla Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: „Posiedzenia Naukowe Państwowego Instytutu Geologicznego”. Nr 50. 2. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, s. 86.
- BROMEK T., CHEĆKO J., KAZIUK H., WAWERSKA B., 1992: *Metanonośność utworów karbonu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. W: Materiały konferencyjne nt. *Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa, s. 9—15.
- BUKOWY S., 1972: *Budowa podłoża karbonu GZW*. W: „Prace Instytutu Geologicznego”. Nr 61: *Karbon GZW*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, s. 23—59.
- BUKOWY S., JURA D., 1982: *Powierzchnia starszego paleozoiku regionu śląsko-krakowskiego*. Prz. Geol., 30, 7, s. 325—328.
- BUŁA Z., BOTOR D., KARWASIECKA M., KOSAKOWSKI P., KOTARBA M., 1995: *Zarys budowy geologicznej i warunki geotermiczne utworów węglonośnych górnego karbonu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Red. R. NEY, M. KOTARBA. Kraków: Centrum PPGSMiE PAN, s. 25—40.
- BUŁA Z., HABRYN R., PIĄTKOWSKA A., DOKTÓR S., KOWALSKI Z., GRANICZNY M., 2007: *Plan strukturalny formacji osadowych Górnego Śląska i zachodniej Małopolski w świetle danych teledetekcyjnych*. Prz. Geol., 55, s. 582—588.
- BUŁA Z., JURA D., 1983: *Uwagi o rozwoju molasy rowu przedgórskiego Karpat na Śląsku Cieszyńskim*. Prz. Geol., 31, s. 659—662.
- BUŁA Z., KOTAS A. (red.), 1994: *Atlas geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Cz. 3: Mapy strukturalne*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.

- BUSCH A., GENSTERBLUM Y., KROOSS B.M., LITKE R., 2004: *Methane and carbon dioxide adsorption-diffusion experiments on coal: upscaling and modeling*. Int. J. Coal. Geol., 60, s. 151—168.
- BUSTIN R.M., 1997: *Importance of fabric and composition on the stress sensitivity of permeability in some coals, Northern Sydney Basin, Australia: Relevance to coalbed methane exploitation*. The AAPG Bull., 81, s. 1894—1908.
- BYWALEC-DWOROK M., 1996: *Analiza porównawcza metod pomiaru zawartości metanu w pokładach węgla*. Prz. Gór., 7—8, s. 25—33.
- CATHYL-BICKFORD C.G., 1991: *Coal Geology and Coalbed Methane Potential of Comox and Nanaimo Coal Fields, Vancouver Island, British Columbia*. In: *Coal-bed Methane of Western North America*. Ed. S.D. SCHWOCHOW. Denver: Rocky Mountain Association of Geologists, s. 155—162.
- CEGLARSKA-STEFANŃSKA G., 2000: *Fizykochemiczne czynniki wpływające na procesy sorpcji / desorpcji CH₄ z węgla kamiennych*. W: *Układ węgiel kamienny — metan w aspekcie desorpcji i odzyskania metanu z gazów kopalnianych*. Red. M. ŻYŁA. Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, s. 179—200.
- CEGLARSKA-STEFANŃSKA G., BRZÓZKA K., 1994: *Desorpcja metanu z polskich węgla bitumicznych — badania laboratoryjne*. W: *Materiały konferencyjne nt. Wykorzystanie metanu pokładów węgla*. T. 2. Sekcja 22.
- CEGLARSKA-STEFANŃSKA G., CZAPLIŃSKI A., 1990: *Współzależność zjawisk sorpcyjnych i dylatometrycznych węgla kamiennych*. W: *Górotwór jako ośrodek wielofazowy. Wyrzuty skalno-gazowe*. T. 2. Red. J. LITWINISZYN. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 411—441.
- CHEĆKO J., 2000: *Ocena zasobów metanu jako kopaliny towarzyszącej złożom węglowym z uwzględnieniem wpływu zaburzeń tektonicznych oraz metanu wolnego zawartego w zrobach*. W: *Materiały konferencyjne nt. Postęp naukowo-techniczny w geologii i ekologii złóż*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa, s. 67—76.
- CHMURA K., LEPA M., 1976: *Własności petrograficzne węgla niektórych kopalń ROW-u na tle ziemskiego strumienia ciepłego*. W: *„Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”*. Z. 70. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, s. 55—69.
- CHODYNIECKA L., SANKIEWICZ J., 1972: *Intruzja magmowa w warstwach brzeźnych w rejonie Markłowic (powiat Wodzisław Śląski)*. Roczn. Pol. Tow. Geol., 42, 4, s. 309—326.
- CHODYNIECKA L., SANKIEWICZ J., 1978: *Bazalt z rejonu Suminy*. Kwart. Geol., 22, s. 117—130.
- CHROSCZ H., 2009: *Możliwości zwiększenia bazy zasobowej w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A.* W: *Materiały 19. konferencji Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi*. Kraków: Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, s. 71—78.
- CLARKSON C.L., BUSTIN R.M., 2000: *Binary gas adsorption/desorption isotherms: effect of moisture and coal composition upon carbon dioxide selectivity over methane*. Int. J. Coal Geol., 42, s. 241—271.
- CLOSE J.C., MAVOR M.J., 1991: *Influence of coal composition and rank on fracture development in Fruitland gas coal reservoirs of San Juan Basin*. In: *Coalbed Methane of Western North America*. Eds. S. SCHWOCHOW, D.K. MURRAY, M.F. FAHY. Rocky Mountain Association Geologists Field Conference, s. 109—121.
- CROSDALE P.J., BEAMISH B.B., VALIX M., 1998: *Coalbed methane sorption related to coal composition*. Int. J. Coal Geol., 35, s. 147—158.
- CYRUL T., 1993: *Struktury przestrzennej zmienności metanonośności w Rybnickim Okręgu Węglowym*. W: *„Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej”*. T. 2. Kraków: PAN, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, s. 271—280.
- CYRUL T., HEESCH M., KANDORA P., 1992: *Analiza metanonośności w kopalni Pniówek*. Prz. Gór., 9, s. 6—14.
- CZAPIGO M., 2011: *Gaz ziemny*. W: *Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na dzień 31.12.2010 r.* Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.
- ĆMIEL S., 2009: *Charakterystyka epigenetycznych zmian węgla w pokładach w strefach uskokowych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- DAWSON G.K.W., ESTERLE J.S., 2010: *Controls on coal cleat spacing*. Int. J. Coal Geol., 82, s. 213—218.
- DEISMAN N., GENTZIS T., CHALATURNYK R.J., 2008: *Unconventional geomechanical testing on coal for coalbed reservoir well design: the Alberta Foothills and Plains*. Int. J. Coal. Geol., 75, s. 15—26.
- DEISMAN N., IVARS D.M., DARCEL C., CHALATURNYK R.J., 2010: *Empirical and numerical approaches for geomechanical characterization of coal seam reservoirs*. Int. J. Coal. Geol., 82, s. 204—212.
- DEMBOWSKI Z., 1972: *Krakowska seria piaskowcowa GZW*. W: *„Prace Państwowego Instytutu Geologicznego”*. T. 61: *Karbon Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, s. 509—538.
- DEPOWSKI S., 1987: *Ropa naftowa i gaz ziemny*. W: *Budowa geologiczna Polski*. T. 6: *Złoża surowców mineralnych*. Red. R. OSIKA. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne.
- DIAMOND W.P., IRANI M.C., AUL G.N., THIMONS E.D., 1980: *Instruments, Techniques, Equipment*. USBM Bull., 687, s. 79—83.
- DMITREW A.M., KULIKOWA N.N., BODINA G.V., 1982: *Problemy gazonosnosti ugodnykh mestorozhdenij*. Moskva: Izd. Nedra.
- DOKTOR M., GRADZIŃSKI R., 1985: *Środowisko depozycji aluwialnych utworów węglonośnych serii mułowcowej (górny karbon Zagłębia Górnośląskiego)*. Stud. Geol. Pol., 82, s. 1—62.
- DOKTOROWICZ-HREBNICKI S., BOCHEŃSKI T., 1952: *Podstawy i niektóre wyniki paralelizacji pokładów węgla w Zagłębiu Górnośląskim*. Geol. Biul. Inf., 1, s. 13—14.

- ETTINGER I.L., 1969: *Wniezapnyje wybrosy uгля i gaza i struktura uгля*. Moskwa: Izd. Niedra.
- FASSET E.J., 1988: *Geometry and Depositional Environment of Fruitland Formation Coal Beds, San Juan Basin, New Mexico and Colorado: Anatomy of a Giant Coal-bed Methane Deposit*. In: *Geology and Coal-bed methane resources of the San Juan Basin, Colorado, New Mexico*. Ed. J.E. FASSET. Denver: Rocky Mountain Association of Geologist, s. 23—38.
- FLORES R.M., 1998: *Coalbed Methane: From hazard to resource*. Int. J. Coal. Geol., 35, s. 3—26.
- FLORES R.M., 2008: *Microbes, methanogenesis, and microbial gas in coal*. Int. J. Coal. Geol., 76, s. 1—2.
- FREIWALD P., 1998: *Warunki akumulacji metanu w południowo-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: „Posiedzenia Naukowe Państwowego Instytutu Geologicznego”. Nr 54. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, s. 71—73.
- GABZDYL W., 1964: *Przejawy metamorfizmu kontaktowego na kopalni „Jastrzębie”*. W: „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”. Z. 12. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, s. 107—121.
- GABZDYL W., 1987: *Petrografia węgla*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- GABZDYL W., HANAK B., 2005: *Surowce mineralne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i obszarów przyлегłych*. Prz. Geol., 53, s. 726—733.
- GARECKA M., MARCINIEC P., OLSZEWSKA B., WÓJCIK A., 1996: *Nowe dane oraz próba korelacji utworów mioceńskich w podłożu Karpat Zachodnich*. Prz. Geol., 44, s. 495—501.
- GATNAR K., 2005: *Trójkogeneracja — wytwarzanie ciepła, zimna i energii elektrycznej w oparciu o metan z odmetanowania kopalń JSW. S.A. „Polityka Energetyczna”*, T. 8, Zeszyt specjalny, s. 453—467.
- GAWLIK L., GRZYBEK I., 2002: *Szacowanie emisji metanu w polskich zagłębiach (system węgla kamiennego)*. Kraków: Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.
- GENTZIS T., 2009: *Stability of a horizontal coalbed methane well in the Rocky Mountain Front Ranges of southeast British Columbia, Canada*. Int. J. Coal. Geol., 77, s. 328—337.
- GENTZIS T., DEISMAN N., CHALATURNYK R.J., 2007: *Geomechanical properties and permeability of coals from the Foothills and Mountain regions of western Canada*. Int. J. Coal. Geol., 69, s. 153—164.
- GENTZIS T., DEISMAN N., CHALATURNYK R.J., 2009: *A method to predict geomechanical properties and model well stability in horizontal boreholes*. Int. J. Coal. Geol., 78, s. 149—160.
- GNUTEK A., JURA D., 2006: *Zróżnicowanie węgla, zawartości metanu i odgazowania w południowej partii złoża KWK Pniówek (SW część GZW)*. W: Materiały 29. Sympozjum nt. *Geologia form węglonośnych Polski*. Red. I. LIPIARSKI. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 25—30.
- GODULA T., JANAS J., 1996: *Dokumentacja geologiczna w kategorii C2 złoża węgla kamiennego rejonu Zebrzydowice*. Sosnowiec: Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego [niepubl.].
- GRADSTEIN F.M., OGG J.G., SMITH A.G. (red.), 2004: *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge: Cambridge University Press.
- GRADZIŃSKI R., DOKTOR M., KĘDZIOR A., 2005: *Sedymentacja węglonośnej sukcesji Górnośląskiego Zagłębia Węglowego: kierunki badań i aktualny stan wiedzy*. Prz. Geol., 53, s. 734—741.
- GRADZIŃSKI R., DOKTOR M., SŁOMKA T., 1995: *Depositional environments of the coal-bearing Cracow Sandstone Series (upper Westphalian), Upper Silesia, Poland*. Stud. Geol. Pol., 108, s. 149—170.
- GRUDNIK J., WĄTOR L., 2000: *Ocena możliwości eksploatacji metanu wolnego nagromadzonego przy stropie utworów karbonu w złożu KWK „Silesia”*. W: Materiały konferencyjne nt. *Postęp naukowo-techniczny w geologii i ekologii złóż*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa, s. 121—127.
- GRZYBEK I., 1992: *Wprowadzenie w zagadnienia eksploatacji metanu pokładów węgla*. Prz. Górn., 9, s. 14—16.
- GRZYBEK I., 2000: *Problemy geometryzacji pola metanonośności i szacowania zasobów metanu wynikające z eksploatacyjnego odgazowania pokładów węgla*. Górn. Odkryw., 2—3, s. 211—219.
- GRZYBEK I., KROGULEC P., 1998: *Metan pokładów węgla w Australii*. Mies. WUG, 6, s. 55—57.
- GRZYBEK I., KUZAK R., 1997: *Metodyka geometryzacji pola metanonośności złóż węgla na podstawie danych rozproszonych*. Techn. Posz. Geol. Geosynoptyka i Geotermia, 1—2, s. 101—111.
- HADRO J. (gł. wyk.), 2006: *Wyjaśnienie warunków występowania i zróżnicowania metanonośności pokładów węgla na tle budowy geologicznej GZW, LZW i DZW w porównaniu z innymi zagłębiami na świecie*. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- HADRO J., KOTAS A., WAŚNIEWSKA A., WÓJCIK A., 1997: *Dokumentacje geologiczne otworów wiertniczych Amoco Czarków 1, Łąka 1, Miedzna 1*. Sosnowiec: Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego [niepubl.].
- HADRO J., KUCIA P., SOKULSKA K., 1998: *Dokumentacja geologiczna otworu wiertniczego Warszawa Pawłowice Texaco A*. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- HADRO J., SPINCZYK A., CHEĆKO J., 2004: *Ocena potencjału zasobowego dla pokładów węgla zalegających w strefie wtórnego nagromadzenia metanu sorbowanego południowej części niecki głównej GZW*. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- HAMPTON G.L., SCHWOCHOW S., 1994: *Analiza zawartości gazu w węglu: porównanie metody bezpośredniej stosowanej przez U.S. Bureau of Mines z metodą stosowaną w Kopalni Doświadczalnej Barbara*. W: Materiały konferencyjne nt. *Wykorzystanie metanu pokładów węgla*. T. 2. Sekcja 24.
- HARPALANI S., SCHRAUFNAGEL R.A., 1990: *Shrinkage of coal matrix with release of gas and its impact on permeability of coal*. Fuel, 69, s. 551—556.

- HEMZA P., 1998: *Geological assessment of CBM prospection areas in the Czech part of the Upper Silesian Coal Basin*. In: *International Conference on Coal-bed Methane Technologies of Recovery and Utilization*. Katowice: Central Mining Institute, s. 9—24.
- HEMZA P., SIVEK M., JIRÁSEK P., 2009: *Factors influencing the methane content of coal beds of the Czech part of the Upper Silesian Coal Basin, Czech Republic*. *Int. J. Coal. Geol.*, 79, s. 29—39.
- HERBICH E., 1981: *Analiza tektoniczna sieci uskokowej GZW*. *Roczn. Pol. Tow. Geol.*, 51, 3—4, s. 383—434.
- HERMAN Z., BUKALSKI P., MALINGA P., 2009: *Pozyskiwanie metanu pokładów węgla przez otwory wiertnicze wykonywane z powierzchni*. *Mies. WUG*, 1, s. 14—16.
- HERMAN Z., SIEMEK J., 1994: *Ocena właściwości zbiornikowych pokładów węgla dla metanu w oparciu o wyniki testów hydrodynamicznych wykonywanych w otworach wierconych z powierzchni ziemi*. W: *Materiały konferencyjne nt. Wykorzystanie metanu pokładów węgla*. T. 2. Sekcja 19.
- HILDENBRAND A., KROOSS B.M., BUSCH A., GASCHNITZ R., 2006: *Evolution of methane sorption capacity of coal seams as a function of burial history — a case study from Campine Basin, NE Belgium*. *Int. J. Coal. Geol.*, 66, s. 179—203.
- HOJKA M., 2006: *Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża metanu „Kaczyce 1” — dotyczy gazu ziemnego w kategorii C*. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- HOJKA M., 2008: *Dokumentacja geologiczna otworu wiertniczego „Kaczyce — 2/07”*. Kaczyce: Karbonia PL Sp. z o.o. [niepubl.].
- HOŁDA S., NODZEŃSKI A., CHUDZIK W., 1995: *Sorpcja metanu na węglach kamiennych Górnosląskiego Zagłębia Węglowego w zależności od ciśnienia i temperatury*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnosląskiego Zagłębia Węglowego*. Red. R. NEY, M. KOTARBA. Kraków: Centrum PPGSMiE PAN, s. 159—167.
- HUNT A.M., STEELE D.J., 1991: *Coalbed methane development in the Appalachian Basin*. „Quarterly Review of Methane from Coal Seam Technology”, 8, s. 10—19.
- HUNT J.M., LEWAN M.D., HENNET R.J.-C., 1991: *Modeling oil generation with time-temperature index graphs based on the Arrhenius equation*. *The AAPG Bull.*, 75, s. 795—807.
- IZADI G., WANG S., ELSWORTH D., LIU J., WU Y., PONE D., 2011: *Permeability evolution of fluid-infiltrated coal containing discrete fractures*. *Int. J. Coal. Geol.*, 85, s. 202—211.
- JAKUBÓW A., TOR A., WIERZBICKI M., 2006: *Własności strukturalne węgla w rejonie wyrzutu węgla i gazu w chodniku transportowym D-6 w pokładzie 409/4 KWK „Zofiówka”*. W: 13. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. *Górnictwo zagrożenia naturalne 2006. Głębokość eksploatacji a zagrożenia górnicze*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa, s. 86—93.
- JAMES A.T., BURNS B.J., 1984: *Microbial alteration of subsurface natural gas accumulations*. *The AAPG Bull.*, 68, s. 957—960.
- JURA D., 1992: *Rzeźba góriska powierzchni podmiocześskiej okolic Jastrzębia w Górnosląskim Zagłębiu Węglowym*. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 368, s. 5—36.
- JURA D., 2001: *Morfotektonika i ewolucja różnowiekowej niezgodności w stropie utworów karbonu Górnosląskiego Zagłębia Węglowego*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- JURCZAK-DRABEK A., 1996: *Atlas petrograficzny Górnosląskiego Zagłębia Węglowego*. Warszawa: Wydawnictwo Państwowego Instytutu Geologicznego.
- JURCZAK-DRABEK A., KWARCIŃSKI J., 2003: *Zależność pojemności sorpcyjnej węgla kamiennego dla metanu od składu petrograficznego węgla (Górnosląskie Zagłębie Węglowe)*. W: „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”. Seria Górnictwo. Z. 257. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, s. 75—84.
- JURECZKA J., DOPITA M., GAŁKA M., KRIEGER W., KWARCIŃSKI J., MARTINEC P., 2005: *Atlas geologiczno-złożowy polskiej i czeskiej części Górnosląskiego Zagłębia Węglowego*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, Ministerstwo Środowiska.
- JURECZKA J., KRIEGER W., KWARCIŃSKI J., ROLKA M., WILK S., 2008: *Ekspertyza geologiczno-złożowa dla oceny możliwości udostępniania metanu pokładów węgla płytkiej strefy gazonośnej na obszarze Pawłowice-Warszowice (w ramach koncesji posiadanej przez Eurenergy Resources Poland)*. Sosnowiec: Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego [niepubl.].
- JURECZKO J., MALICKI S., 1981: *Charakterystyka litologiczna i własności hydrogeologiczne warstw dębowieckich w obszarze górniczym KWK Kaczyce*. W: *Materiały konferencyjne nt. Problematyka geologiczna w kopalniach ROW*. Jastrzębie-Zdrój, s. 1—18.
- KANDARACHEVOVÁ J., SEDLÁČKOVÁ L., HÝLOVÁ L., JIRÁSEK J., SIVEK M., 2009: *Lateral development of coalification in the Czech part of the Upper Silesian Coal Basin and its connection with gas deposits*. *Int. J. Coal. Geol.*, 78, s. 225—232.
- KANDORA P., GRZYBEK I., 1992: *On the criteria of the possibility of balancing and exploitation of coal bed methane*. *Workshop on the „Recovery and End-Use of Coalbed Methane”*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- KARACAN C.Ö., 2009: *Reconciling longwall gob reservoirs and venthole production performances using multiple rate drawdown test analysis*. *Int. J. Coal. Geol.*, 80, s. 181—195.
- KARNKOWSKI P., 1969: *Formowanie się złóż ropy naftowej i gazu ziemnego na tle geologii przedgórza Karpat Polskich*. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne.
- KARNKOWSKI P., 1993: *Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce*. T. 2: *Karpaty i zapadlisko przedkarpackie*. Kraków: Towarzystwo Geosynoptyków „Geos” AGH.
- KARWASIECKA M., 1996: *Atlas geotermiczny Górnosląskiego Zagłębia Węglowego*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.

- KAZIUK H., BROMEK T., CHEĆKO J., CHUDZICKA B., 1994: *Warunki występowania metanu pokładów węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym i jego zasoby*. W: Materiały konferencyjne nt. Wykorzystanie metanu pokładów węgla. T. 2. Cz. 26. Katowice: Główny Instytut Górnictwa, s. 1—6.
- KĘDZIOR S., 2000: *Rola czynników geologicznych w ukształtowaniu współczesnego pola metanonośności serii węglonośnej w wybranych obszarach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Praca doktorska. Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza [niepubl.].
- KĘDZIOR S., 2002: *The influence of tectonic factor on methane bearing capacity in chosen areas of the Upper Silesian Coal Basin*. In: *Proceedings of the 4. European Coal Conference*. Special Papers 7. Eds. J. JURECZKA, M. PODEMSKI. Warszawa: Polish Geological Institute, s. 143—147.
- KĘDZIOR S., 2005: *Próba usystematyzowania zjawisk wpływających na zmienność metanonośności serii węglonośnych na przykładzie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Materiały konferencyjne 76. Zjazdu Naukowego Polskiego Towarzystwa Geologicznego*. Red. J. JURECZKA, Z. BUŁA, J. ŻABA. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, Polskie Towarzystwo Geologiczne, s. 156—160.
- KĘDZIOR S., 2006: *Charakterystyka występowania płytkiej strefy wysokometanowych pokładów węgla w złożu Warszowice-Pawłowice Północ w aspekcie możliwości zagospodarowania metanu*. *Górn. Odkryw.*, 1—2, s. 161—165.
- KĘDZIOR S., 2008a: *Potencjał zasobowy metanu pokładów węgla w Polsce w kontekście uwarunkowań geologicznych*. *Gosp. Sur. Min.*, 24, 4/4, s. 155—173.
- KĘDZIOR S., 2008b: *Występowanie płytkiej strefy wysokometanowych pokładów węgla w rejonie Pawłowic*. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 429, s. 69—74.
- KĘDZIOR S., 2008c: *Charakterystyka geologiczno-zasobowa złóż gazu ziemnego (metanu wolnego) w rejonie górnośląskim z punktu widzenia eksploatacji na potrzeby lokalne*. *Górn. Odkryw.*, 2—3, s. 77—80.
- KĘDZIOR S., 2009a: *Problem emisji i ujmowania metanu kopalnianego na przykładzie wybranych czynnych kopalń południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. *Górn. Odkryw.*, 2—3, s. 79—83.
- KĘDZIOR S., 2009b: *Accumulation of coal-bed methane in the south-west part of the Upper Silesian Coal Basin (southern Poland)*. *Int. J. Coal. Geol.*, 80, s. 20—34.
- KĘDZIOR S., 2009c: *Występowanie przystropowej strefy metanonośnej w złożu węgla Bzie-Dębina I (Górnośląskie Zagłębie Węglowe) w świetle możliwości ujmowania i wykorzystania metanu jako kopaliny towarzyszącej*. W: *Materiały 19. konferencji z cyklu „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”*. Kraków: IGSMiE PAN, s. 157—166.
- KĘDZIOR S., 2009d: *Warunki metanowe złoża węgla kamiennego Gołkowice z punktu widzenia możliwości zagospodarowania metanu: GZW*. W: *Materiały 32. Sympozjum „Geologia formacji węglonośnych Polski”*. Red. I. LIPIARSKI. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 31—36.
- KĘDZIOR S., 2011: *The occurrence of a secondary zone of coal-bed methane in the southern part of the Upper Silesian Coal Basin (southern Poland): potential for methane exploitation*. *Int. J. Coal. Geol.*, 86, s. 157—168.
- KĘDZIOR S., HADRO J., KWARCIŃSKI J., NAGY S., MĘYNARCZYK M., ROSTKOWSKI R., ZALEWSKA E., 2007: *Warunki naturalne występowania i metody eksploatacji metanu pokładów węgla w wybranych zagłębiach węglowych USA oraz możliwości rozwoju eksploatacji tego gazu w Polsce — sprawozdanie z wyjazdu szkoleniowego do USA*. *Prz. Geol.*, 55, s. 565—570.
- KĘDZIOR S., JELONEK I., 2010: *Relationship between maceral composition and permeability of coal in the southern part of the Upper Silesian Coal Basin — preliminary observations*. In: *Proceedings of 62nd meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP)*, Belgrade. Abstracts, s. 67—68.
- KĘDZIOR S., WĄTOR L., 2002: *Odnawialność zasobów gazu ziemnego na przykładzie złoża metanu wolnego KWK „Silesia”*. *Górn. Odkryw.*, 2—3, s. 73—78.
- KHAVARI-KHORASANI G., MICHELSEN J.K., 1999: *Coal-bed gas content and gas undersaturation*. In: *Coal-bed methane: scientific, environmental and economic evaluation*. Eds. M. MASTALERZ, M. GLIKSON, S.D. GOLDING. Boston: Kluwer Academic Publishers, s. 207—231.
- KIM A.G., 1977: *Estimating of methane content of bituminous coal beds from adsorption data*. U.S. Bureau of Mines. Report no. 18245.
- KINNON E.C.P., GOLDING S.D., BOREHAM K.A., BAUBLYS K.A., ESTERLE J.S., 2010: *Stable isotope and water quality analysis of coal bed methane production waters and gases from the Bowen Basin, Australia*. *Int. J. Coal. Geol.*, 82, s. 219—231.
- KONDRACKI J., 1994: *Geografia Polski. Mezoregiony fizycznogeograficzne*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- KONSTANTYNOWICZ E., 1994: *Geologia złóż kopalni. Kopaliny energetyczne*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- KOSAKOWSKI P., BOTOR D., KOTARBA M., 1995: *Próba oceny wielkości erozji i warunków paleotermicznych utworów węglonośnych górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Red. R. NEY, M. KOTARBA. Kraków: Centrum PPGSMiE PAN, s. 41—51.
- KOTARBA M., 1980: *Wpływ czynników geologicznych na akumulację gazów górnego karbonu południowej części ROW-u w świetle badań izotopowych*. W: *„Zeszyty Naukowe AGH”*. Seria Górnictwo. Z. 110. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 61—69.
- KOTARBA M., 1990: *Isotopic geochemistry and habitat of the natural gases from the Upper Carboniferous Zacler coal-bearing formation in the Nova Ruda coal district (Lower Silesia, Poland)*. *Org. Geochem.*, 16, s. 549—560.

- KOTARBA M.J., 1999: *Generation and accumulation of hydrocarbons and geochemical characteristics of organic matter in autochthonous Miocene strata of the Carpathian Foredeep*. In: „Prace Państwowego Instytutu Geologicznego”. T. 168: *Analysis of the Tertiary basin of the Carpathian Foredeep*. Ed. T.M. PERYT. Warszawa: Polish Geological Institute, s. 277—296.
- KOTARBA M.J., 2001: *Composition and origin of gases in the Upper Silesian and Lublin Coal Basins, Poland*. *Org. Geochem.*, 32, s. 163—180.
- KOTARBA M.J., BURZEWSKI W., JAWOR E., BARAN U., KOSAKOWSKI P., BUŁA Z., 2004: *Generacyjny podsystem naftowy i ocena możliwości akumulacji węglowodorów utworów karbonu w południowej części bloku górnośląskiego i małopolskiego*. W: *Możliwości generowania węglowodorów w skałach karbonu w południowej części bloku górnośląskiego i małopolskiego*. Red. M.J. KOTARBA. Kraków: Wydawnictwo TBPS „Geosfera”, s. 117—141.
- KOTARBA M.J., LEWAN M.D., 2004: *Characterizing thermogenic coalbed gas from Polish coals of different ranks by hydrous pyrolysis*. *Org. Geochem.*, 35, s. 615—646.
- KOTARBA M., NEY R., 1995: *Węglowodory w utworach węglonośnych górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Red. R. NEY, M. KOTARBA. Kraków: Centrum PPGSMiE PAN, s. 7—24.
- KOTARBA M., NEY R., HOŁDA S., 1995a: *Bilans akumulacji metanu w pokładach węgla kamiennego i w kompleksie skał ilowcowo-mułowcowych górnego karbonu produktywnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Red. R. NEY, M. KOTARBA. Kraków: Centrum PPGSMiE PAN, s. 61—74.
- KOTARBA M., PEKAŁA Z., DANIEL J., WIĘCŁAW D., SMOŁARSKI L., 1995b: *Rozkład głębokościowy zawartości metanu i węglowodorów wyższych w utworach węglonośnych górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Red. R. NEY, M. KOTARBA. Kraków: Centrum PPGSMiE PAN, s. 175—180.
- KOTARBA M.J., PLUTA I., 2009: *Origin of natural waters and gases within the Upper Carboniferous coal-bearing and autochthonous Miocene strata in South-Western part of the Upper Silesian Coal Basin, Poland*. *Appl. Geochem.*, 24, s. 876—889.
- KOTAS A., 1971: *Uwagi o metamorfizmie węgla Zagłębia Górnośląskiego*. W: „Zeszyty Naukowe AGH”. Seria *Geologia*. Z. 14. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 7—25.
- KOTAS A., 1972: *Osady morskie karbonu górnego i ich przejście w utwory produktywne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: „Prace Państwowego Instytutu Geologicznego”. T. 61: *Karbon Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, s. 279—328.
- KOTAS A., 1982: *Zarys budowy geologicznej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Przewodnik 54. Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego*. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne, s. 45—72.
- KOTAS A., 1985: *Uwagi o ewolucji strukturalnej GZW*. W: *Materiały Konferencji Tektonika GZW*. Red. J. TRZĘPIERCZYŃSKI. Sosnowiec: Uniwersytet Śląski, s. 17—46.
- KOTAS A., 1987: *Górnośląskie Zagłębie Węglowe*. W: *Budowa geologiczna Polski*. T. 6: *Złoża surowców mineralnych*. Red. R. OSIKA. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne, s. 103—139.
- KOTAS A., 1995: *Moravian-Silesian-Cracovian region. Upper Silesian Coal Basin*. W: „Prace Państwowego Instytutu Geologicznego”. T. 148: *The Carboniferous system in Poland*. Eds. A. ZDANOWSKI, H. ŻAKOWA. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, s. 124—133.
- KOTAS A., 2001: *Niektóre aspekty interpretacji gradientów dojrzałości termicznej osadów karbońskich GZW*. W: 24. *Symposium „Geologia formacji węglonośnych Polski”*. Red. I. LIPIARSKI. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 45—51.
- KOTAS A. (red.), 1994: *Coal-bed methane potential of the Upper Silesian Coal Basin, Poland*. W: „Prace Państwowego Instytutu Geologicznego”. T. 142. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.
- KOTAS A., BUŁA Z., GADEK S., KWARCINski J., MALICKI R., 1983: *Atlas geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Cz. 2: *Mapy jakości węgla*. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne.
- KOTAS A., KWARCINski J., JURECZKA J., 1992: *Methods of the estimation of coal bed methane reserves in the Silesia Coal Basin*. In: *Workshop on the „Recovery and End-Use of Coal Bed Methane”*. Katowice.
- KOTAS A., MALCZYK W., 1972a: *Seria paraliczna piętra namuru dolnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: „Prace Państwowego Instytutu Geologicznego”. T. 61: *Karbon Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, s. 329—426.
- KOTAS A., MALCZYK W., 1972b: *Górnośląska seria piaskowcowa piętra namuru górnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: „Prace Państwowego Instytutu Geologicznego”. T. 61: *Karbon Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, s. 427—466.
- KOTAS A., PORZYCKI J., 1984: *Pozycja geologiczna i główne cechy karbońskich zagłębi węglowych Polski*. *Prz. Geol.*, 32, s. 268—280.
- KOWALSKA Z., 1987: *Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego KWK „Moszczenica”*. Kat. A, B, C₁, C₂. Sosnowiec: Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego [niepubl.].
- KOWALSKI A., KOTARBA M., SEMYRKA G., 1995: *Model i bilans generowania gazów z pokładów węgla utworów górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Red. R. NEY, M. KOTARBA. Kraków: Centrum PPGSMiE PAN, s. 99—113.

- KOZŁOWSKI B., 1982: *Gazy kopalniane — kontrola, prognoza, zwalczanie*. Warszawa—Kraków: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- KOZŁOWSKI B., GRĘBSKI Z., 1982: *Odmetanowanie górotworu w kopalniach*. Katowice: Wydawnictwo „Śląsk”.
- KRAUSE E., KOBIELA Z., 1995: *Zagrożenia gazowe w polskich kopalniach węgla kamiennego*. Wiad. Gór., 8, s. 338—342.
- KRAUSE E., SEBASTIAN Z., 1998—2009: *Zagrożenia gazowe*. W: *Raport roczny (1997—2008) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego*. Red. W. KONOPKO. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- KRAWCOW A.I. (gł. red.), 1979: *Gazonosnost' ugolnych bassejnow i mestorożdzenij SSSP*. T. 1: *Ugolnyje bassejny i mjestorożdzenija jewropjejskoj czasti SSSP*. T. 2: *Ugolnyje bassejny i mestorożdzenija Sibiri, Kazachstana i Dalniego Wostoka*. Moskwa: Izd. Niedra.
- KRAWCOW A.I., EFREMOW K.A., 1980: *Wlijanie geologiczskich faktorow na raspriedielenie prirodnich gazow w ugolnych płastach i wmieszczajuszczich porodach*. In: *Gazonosnost' ugolnych bassejnow i mestorożdzenij SSSP*. T. 3: *Gjenjezis i zakonomjernosti rozpredjelenija prirodnich gazow ugolnych bassejnow i mestorożdzenij SSSP*. Moskwa: Izd. Niedra, s. 74—101.
- KREVELEN D.W., SCHUYER J., 1969: *Chemia węgla i jego struktura*. Warszawa: PWN.
- KRUCZEK J., SUCH P., 1994: *Metodyka pomiarów przepuszczalności względnych i fazowych*. Nafta-Gaz, 12, s. 525—531.
- KRUSZEWSKA K., DYBOVA-JACHOWICZ S., 1997: *Zarys petrologii węgla*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- KRZANOWSKA A., 2002: *Dodatek Nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża węgla kamiennego Pawłowice w kat. C1, C2*. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- KRZANOWSKA A., 2005: *Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego Bzie-Dębina I w kategorii C₁, C₂*. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- KRZANOWSKA A., 2008: *Dodatek Nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża węgla kamiennego „Bzie-Dębina I-Zachód” w kat. C1, C2*. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- KRZYSTOLIK P., 1997: *Zagrożenie metanowe w kopalniach węgla kamiennego*. Wiad. Gór., 7—8, s. 305—311.
- KRZYSTOLIK P., KOBIELA Z., 1992: *Technology and safety of methane extraction from the coal seams and the results for future coal exploitation*. W: *Materiały konferencji na temat wydobywania i wykorzystania metanu ze złóż węgla*. Temat B: *Extraction of methane from coal seams — technologies and safety*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- KUHL J., 1954: *Przyczynek do poznania tufogenicznych skał karbonu Górnego Śląska*. Roczn. Pol. Tow. Geol., 22, s. 181—208.
- KULANDER B.R., DEAN S.L., 1993: *Coal-cleat domains and domain boundaries in the Allegheny Plateau of West Virginia*. The AAPG Bull., 77, s. 1374—1388.
- KWARCIŃSKI J. (red.), 2006: *Weryfikacja bazy zasobowej metanu pokładów węgla jako kopaliny głównej na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- KWARCIŃSKI J., HADRO J., 2008: *Metan pokładów węgla na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Prz. Geol., 56, s. 485—490.
- KWARCIŃSKI J., NIEMCZYK B., 1989: *Opracowanie warunków gazonośności pokładów węgla głębokich poziomów GZW*. Centralny Program Badawczo-Rozwojowy nr 1.8. Sosnowiec: Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego [niepubl.].
- LAMBERSON M.N., BUSTIN M.R., 1993: *Coal-bed methane characteristics of Gates Formation coals, northeastern British Columbia; effect of maceral composition*. The AAPG Bull., 77, s. 2062—2076.
- LAUBACH S.E., MARRETT R.A., OLSON J.E., SCOTT A.R. 1998: *Characteristics and origins of coal cleat: A review*. Int. J. Coal. Geol., 35, s. 175—207.
- LAXMINARAYANA C., CROSDALE P.J., 1999: *Role of coal type and rank on methane sorption characteristic of Bowen Basin, Australia Coals*. Int. J. Coal. Geol., 40, s. 309—325.
- LENK T., 1983: *Opracowanie strukturalno-facjalne i perspektywy gazonośności utworów miocenu autochtonicznego na obszarze przedgórzia Karpat Zachodnich*. Prz. Geol., 31, s. 641—646.
- LEVORSEN A.I., 1972: *Geologia ropy naftowej i gazu ziemnego*. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne.
- LIPIARSKI I., 2007: *Charakterystyka geologiczna warstw łaziskich w okolicy Trzebini; Górnośląskie Zagłębie Węglowe*. W: 30. Sympozjum nt. *Geologia formacji węglonośnych Polski*. Red. I. LIPIARSKI. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 61—67.
- LISIECKI B., 1986: *Zależność metanonośności pokładów od głębokości ich zalegania w warunkach Katowickiego Gwarectwa Węglowego*. Prz. Gór., 1, s. 1—10.
- LOGAN T.L., SCHWOEBEL J.J., 1992: *Hydrauliczne szczelinowanie pokładów węgla*. Biul. Inf. „Metan Pokładów Węgla. Technologie”, 1, s. 10—12.
- LUNARZEWSKI L.W., 1998: *Gas emission prediction and recovery in underground coal mines*. Int. J. Coal. Geol., 35, s. 117—145.
- ŁUKOMSKI R., 2000: *Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego „Pniówek”*. Warunki gazowe. SITG Oddz. Rybnik. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- MAJOROWICZ J., 1978: *Związki pola geotermicznego z uwęglaniem w polskich basenach węglowych*. Kwart. Geol., 22, 3, s. 497—510.
- MALON A., TYMIŃSKI M., 2011: *Metan pokładów węgla*. W: *Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce wg stanu na dzień 31.12.2010 r.* Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.
- MANDRELA L., 1992: *Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego rejonu Silesia-Jawiszowice-Dankowice. Kategoria C₁, C₂*. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- MANDRELA L., PEKAŁA Z., 2002: *Dodatek Nr 4 do dokumentacji geologicznej złoża węgla kamiennego*

- Warszowice-Pawłowice Północ w kat. B, C1, C2. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- MCCANTS C.Y., SPAFFORD S., STEVENS S.H., 2001: *Five-Spot Production Pilot on Tight Spacing: Rapid Evaluation of a Coalbed Methane Block in the Upper Silesian Coal Basin, Poland*. In: *Proceedings of the 2001 International Coalbed Methane Symposium, Tuscaloosa*, s. 193—204.
- MILEWSKA-DUDA J., 2000: *Analiza ilościowa i jakościowa struktury i właściwości energetycznych węgla kamiennych w oparciu o dane sorpcyjne*. W: *Układ węgiel kamienny — metan w aspekcie desorpcji i odzyskania metanu z gazów kopalnianych*. Red. M. ŻYŁA. Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, s. 53—151.
- MITURA F., 1955: *Z zagadnień gazonośności karbonu w Zagłębiu Górnośląskim*. Prz. Geol., 4, s. 158—162.
- MITURA F., 1956: *Z zagadnień gazonośności karbonu w Zagłębiu Górnośląskim (II)*. Prz. Geol., 7, s. 303—309.
- MURRAY D.K., 2000: *CBM in the United States*. World Coal, 9, s. 61—64.
- MUZYZCZUK J., BOROWSKI J., DASZEK A., BOROWSKA Z., 1977: *Metoda odgazowania próbek węgla dla określenia gazonośności pokładów*. Prz. Górn., 2, s. 71—75.
- NIEĆ M., 1993: *Złoża metanu w formacjach węglonośnych*. W: „Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej”. T. 2. Kraków: PAN, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, s. 281—301.
- NIEĆ M., 2010: *Kryteria geologiczne złoża (kryteria bilansowości)*. Kraków: Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.
- NIEĆ M. (red.), 2002: *Zasady dokumentowania złóż ropy naftowej, gazu ziemnego i metanu pokładów węgla*. Warszawa: Ministerstwo Środowiska, Departament Geologii i Koncesji Geologicznych, Komisja Zasobów Kopalni.
- NIEMCZYK B., 1984: *Rozpoznanie gazonośności złóż węglowych utworami wiertniczymi i praktyczne potwierdzenie wyników badań na przykładzie kopalni Krupński*. Techn. Posz. Geol., 4, s. 37—42.
- NIEMCZYK B., 1998: *Zarys badań hydrogeologicznych dla rozpoznania warstw dębowieckich w rejonie Bzie-Dębina*. Warszawa: CAG Państwowy Instytut Geologiczny [niepubl.].
- NIEMCZYK B., DANIEL J., 1986: *Możliwości rozpoznania gazonośności złóż węgla GZW w świetle dotychczasowych badań w otworach wiertniczych oraz rozwój potrzeb i badań w tej dziedzinie*. W: „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”. Seria Górnictwo. Z. 149. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, s. 157—163.
- NODZEŃSKI A., HOŁDA S., 2000: *Sorpcja i desorpcja metanu z węgla kamiennych w zakresie podwyższonych ciśnień*. W: *Układ węgiel kamienny — metan w aspekcie desorpcji i odzyskania metanu z gazów kopalnianych*. Red. M. ŻYŁA. Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, s. 153—178.
- OBUCHOWICZ Z., 1963: *Złoża ropy naftowej i gazu ziemnego w zapadlisku przedkarpackim*. Roczn. Pol. Tow. Geol., 33, 1—3, s. 397—411.
- PALMER I., 2010: *Coalbed methane completions: A world view*. Int. J. Coal. Geol., 82, s. 184—195.
- PAŁYS J., 1971: *Pochodzenie stonych wód w karbonie ważniejszych zagłębi węglowych Europy na tle ich geologicznego rozwoju*. W: „Prace Państwowego Instytutu Geologicznego”. T. 12. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne.
- PASHIN J.C., 1998: *Stratigraphy and structure of coalbed methane reservoirs in the United States. An overview*. Int. J. Coal. Geol., 35, s. 209—240.
- PASHIN J.C., 2010: *Variable gas saturation in coalbed methane reservoirs of the Black Warrior Basin: Implications for exploration and production*. Int. J. Coal. Geol., 82, s. 135—146.
- PEKAŁA Z., 1990: *Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego kop. Morcinek. Warunki metanowe złoża wraz z obliczeniem zasobów metanu jako kopaliny towarzyszącej*. Sosnowiec: Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego [niepubl.].
- PEKAŁA Z., 1992a: *Występowanie metanu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym na tle ogólnej struktury geologicznej obszaru*. Biul. Inf. „Geologia, Metan Pokładów Węgla”, 1, s. 8.
- PEKAŁA Z., 1992b: *Metan pokładów węgla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego — problemy rozpoznawania i określania zasobów*. Biul. Inf. „Geologia, Metan Pokładów Węgla”, 2, s. 12.
- PEKAŁA Z., 1992c: *Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego rejonu „Ćwiklice”, kategoria C₁, C₂. Cz. 6: Warunki metanowe złoża wraz z obliczeniem zasobów metanu jako kopaliny towarzyszącej*. Sosnowiec: Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego [niepubl.].
- PIZARRO GARCÍA C., ÁLVAREZ FERNÁNDEZ M.I., GONZÁLEZ NICIEZA C., ÁLVAREZ VIGIL A.E., LÓPEZ GAYARRE F., 2010: *Storage of N₂, He and CH₄ in coal: Study and application in a practical case in the central Asturian coal basin (northern Spain)*. Int. J. Coal. Geol., 81, s. 53—63.
- PLEWA M., PLEWA S., 1992: *Petrofizyka*. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne.
- PLUTA I., 2005: *Wody kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego — geneza, zanieczyszczenia i metody oczyszczania*. W: „Prace Głównego Instytutu Górnictwa”. *Studia — Rozprawy — Monografie*. Nr 865. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- PLUTA I., 2006: *Wody w przystropowych utworach karbonu kopalni „Pniówek” w świetle badań izotopowych i chemicznych*. W: *Materiały 29. Sympozjum nt. Geologia formacji węglonośnych Polski*. Red. I. LIPIARSKI. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 81—86.
- PLUTA I., KOTARBA M., 2007: *Pochodzenie wód i gazów z karbonu KWK Morcinek oraz miocenu w południowo-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Materiały 30. Sympozjum nt. Geologia formacji węglonośnych Polski*. Red. I. LIPIARSKI. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 109—116.
- PLUTA I., MARCOL A., SZYNICZEK W., DZIENDZIEL E., 2010: *Koncepcja składowania z rozkładem dwutlenku*

- węgla w południowo-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Prz. Gór., 10, s. 73—77.
- PLUTA I., ŚLASKI R., ORAWSKI K., 2006a: *Geneza wód występujących w pstrych utworach karbonu kopalń „Morcinek” i „Pniówek”*. Materiały 29. Sympozjum nt. *Geologia formacji węglonośnych Polski*. Red. I. LIPIARSKI. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 87—92.
- PLUTA I., ŚLASKI R., WALECZEK E., 2006b: *Uwagi o tektoniczno-strukturalnych i genetycznych uwarunkowaniach zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach „Pniówek” i „Zofiówka”*. W: Materiały 29. Sympozjum nt. *Geologia formacji węglonośnych Polski*. Red. I. LIPIARSKI. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 93—98.
- PLUTA I., ZUBER A., 1995: *Origin of brines in the Upper Silesian Coal Basin (Poland) inferred from stable isotope and chemical data*. Appl. Geochem., 10, s. 447—460.
- POBORSKI C., 1960: *W sprawie pochodzenia metanu w karbonie południowej części Rybnickiego Okręgu Węglowego*. Prz. Gór., 7—8, s. 360—369.
- PORZYCKI J., 1972: *Seria mułowcowa piętra westfalu dolnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: „Prace Państwowego Instytutu Geologicznego”. T. 61: *Karbon Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, s. 467—508.
- POZZI M., 1996: *Anizotropia optyczna węgla w pokładach obszaru Jastrzębia jako przejaw naprężeń tektonicznych*. W: „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”. *Seria Górnictwo*. Z. 229. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- PRICE L.C., 1983: *Geologic time as a parameter in organic metamorphism and vitrinite reflectance as an absolute paleogeothermometer*. J. Petrol. Geol., 6, s. 5—38.
- PROBIERZ K., LEWANDOWSKA M., 2003: *Warunki termiczne masywu skalnego w północno-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego a możliwości generowania węglowodorów*. Arch. Min. Sci., 48, s. 3—35.
- QU P., SHEN R., FU L., WANG Z., 2011: *Time delay effect due to pore pressure changes and existence of cleats on borehole stability in coal seam*. Int. J. Coal. Geol., 85, s. 212—218.
- RADZIWILL A., 1999: *Tektonofizyczne kryteria tworzenia się gazowych struktur Donbasu i innych zagłębi węglowych*. W: Materiały 22. Sympozjum nt. *Geologia formacji węglonośnych Polski*. Red. I. LIPIARSKI. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 107—108.
- Raport, 2007: *Raport z badań przepuszczalności piaskowca dębowieckiego*. Instytut Nafty i Gazu w Krakowie. Karbonia PL sp. z o.o. [niepubl.].
- Report of US EPA, 1991: *Poland Coal Bed Methane Report „Assessment of the Potential for Economic Development and Utilization of Coalbed Methane Development in Poland”*. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA. EPA/400/1-91/032.
- ROSENMAN J., SOSNOWSKI M., 1964: *Dokumentacja geologiczna złoża gazu helonośnego Goczałkowice-Dębina*. Katowice: Katowickie Przedsiębiorstwo Geologiczne [niepubl.].
- ROSZKOWSKI J., SZLAZAK N., SZLAZAK J., 1997: *Odmietanie jako środek zwalczania zagrożenia wybuchami oraz sposób wykorzystania metanu w kopalniach węgla kamiennego*. Wiad. Gór., 10, 436—444.
- Rozporządzenie, 2001: *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18.12.2001 r. w sprawie kryteriów bilansowości złóż kopalni*. Dz.U. nr 153, poz. 1774 uzupełnione i modyfikowane w rozporządzeniu z dnia 23.10.2008 r. Dz.U. nr 196, poz. 1220.
- RÓŻKOWSKI A., 1971a: *Chemizm wód w utworach trzeciorzędowych Zagłębia Górnośląskiego*. Biul. Inst. Geol., 249, s. 7—63.
- RÓŻKOWSKI A., 1971b: *Badania środowiska hydrochemicznego utworów dolnotortonńskich południowo-zachodniej części Zagłębia Górnośląskiego*. Biul. Inst. Geol., 249, s. 135—177.
- RÓŻKOWSKI A., 1991: *Region śląsko-krakowski*. W: *Budowa geologiczna Polski*. T. 7: *Hydrogeologia*. Red. J. MALINOWSKI. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne, s. 177—189.
- RÓŻKOWSKI A., SOSNOWSKI M., 1974: *Gazonośność złoża węgla kamiennego Łączna w Lubelskim Zagłębiu Węglowym*. Kwart. Geol., 15, 3, s. 476—489.
- RYCHLICKI S., 2001: *Coalbed methane as a new „unconventional” natural gas resource*. „Wiernictwo Nafta Gaz”, 18/2, s. 421—430.
- RYCHLICKI S., TWARDOWSKI K., 2001: *Metan pokładów węgla w Polsce na tle międzynarodowych doświadczeń*. „Wiernictwo Nafta Gaz”, 18/1, s. 181—188.
- SANG S., XU H., FANG L., LI G., HUANG H., 2010: *Stress relief coalbed methane drainage by surface vertical wells in China*. Int. J. Coal. Geol., 82, s. 196—203.
- SCOTT A.R., 2002: *Hydrogeologic factors affecting gas content distribution in coal beds*. Int. J. Coal. Geol., 50, s. 363—387.
- SCOTT A.R., KAISER W.R., AYERS W.B., 1994: *Thermogenic and secondary biogenic gases, San Juan Basin, Colorado and New Mexico — implications for coalbed gases productibility*. The AAPG Bull., 78, s. 1186—1209.
- SEMYRKA G., KOWALSKI A., KOSAKOWSKI A., WIĘCŁAW P., 1995: *Charakterystyka petrograficzna, chemiczna i geochemiczna węgla z wybranych obszarów Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Red. R. NEY, M. KOTARBA. Kraków: Centrum PPGSMiE PAN, s. 75—98.
- SIEMEK J., OLAJOSSY A., RAJTAR J., RYBICKI C., 1990: *Zastosowanie metod inżynierii złóż gazu ziemnego do badania przepływów w pokładach węgla*. W: *Górotwór jako ośrodek wielofazowy. Wyrzuty skalno-gazowe*. Red. J. LITWINISZYN. T. 1. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 329—347.
- SIEMEK J., OLAJOSSY A., RYBICKI C., 1992: *Przepływy gazów w pokładach węgla*. Katowice: Economic Commission for Europe.
- SKAWIŃSKI R., 1993: *Efekty oddziaływania węgla z wodą i możliwości ich wpływu na przepuszczalność w przepływie metanu*. Biul. Inf. „Metan Pokładów Węgla”, 5, s. 12—15.

- SKOMPSKI S., 2009: *Meandry karbońskiej stratygrafii*. W: 32. Sympozjum nt. *Geologia formacji węglonośnych Polski*. Red. I. LIPIARSKI. Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, s. 79—82.
- SMAKOWSKI T., NEY R., GALOS K. (red.), 2010: *Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2008*. Ministerstwo Środowiska. Kraków: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.
- SMITH N.D., 1992: *Eksploracja metanu pokładów węgla metodą otworów kierunkowych*. Biul. Inf. „Metan Pokładów Węgla. Technologie”, 1, s. 9.
- SOKOŁOWSKA J., 1993: *Zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego w makroregionach i województwach*. Techn. Posz. Geol. Gesynoptyka i Geotermia, 1, s. 1—35.
- STANIEK L., 1986: *Migracja metanu w Górnos Śląskim Zagłębiu Węglowym dyslokacjami dysjunktywnymi*. W: „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”. Seria *Górnictwo*. Z. 140. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, s. 50—54.
- STOLARZEWICZ L., 1958: *Warunki geologiczne a występowanie gazu ziemnego w karbonie kopalni „Msza-na” w świetle odwiertów z powierzchni*. W: „Prace Głównego Instytutu Górnictwa”. Komunikat nr 218. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- STOPA S.Z., 1957: *Podział stratygraficzny karbonu produkcyjnego w Zagłębiu Górnos Śląskim*. Biul. Inst. Geol., 115, s. 195—262.
- STOPA S.Z., 1967: *Problematyka stratygraficzna podziału karbonu krakowskiego w świetle paleobotaniki*. Rocz. Pol. Tow. Geol., 37, 1, s. 5—39.
- STUPNICKA E., 1989: *Geologia regionalna Polski*. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne.
- SUCH P., 2000: *Studium badań przestrzeni porowej skał dla potrzeb geologii naftowej*. W: „Prace Instytutu Nafty i Gazu”. Nr 104. Kraków: Instytut Nafty i Gazu.
- SUCH P., 2002: *Wykorzystanie porometrii rtęciowej w analizie przestrzeni porowej skał zbiornikowych*. W: „Prace Instytutu Nafty i Gazu”. Nr 113. Kraków: Instytut Nafty i Gazu.
- SUCH P., LEŚNIAK G., BUDAK P., 2007: *Kompleksowa metodyka właściwości petrofizycznych skał*. W: „Prace Instytutu Nafty i Gazu”. Nr 142. Kraków: Instytut Nafty i Gazu.
- TARNOWSKI J., 1971: *Występowanie metanu w złożu południowej części Rybnickiego Okręgu Węglowego*. W: „Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa”. Komunikat nr 541. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- TARNOWSKI J., 1973: *Występowanie metanu w południo-wo-wschodniej części Górnos Śląskiej Niecki Węglowej*. Prz. Gór., 10, s. 380—388.
- TARNOWSKI J., 1989: *Geologiczne warunki występowania metanu w Górnos Śląskiej Niece Węglowej*. W: „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”. Seria *Górnictwo*. Z. 166. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- TARNOWSKI J., ZAWIERUCHA M., 1994: *Temperaturowo-uwęgleniowe aspekty rozmieszczenia gazu w złożu Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego*. Prz. Gór., 7—8, s. 17—24.
- TEICHMÜLLER M., 1989: *The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology*. Int. J. Coal Geol., 12, s. 1—87.
- TEPER L., 1998: *Wpływ nieciągłości podłoża karbonu na sejsmotektonikę północnej części Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- TEPER L., SAGAN G., 1995: *Geological history and mining seismicity in Upper Silesia (Poland). Mechanics of Joined and Faulted Rock II*. Ed. H.P. ROSSMANITH. Rotterdam-Brookfield: Balkema, s. 939—943.
- THOMAS L., 2002: *Coal Geology*. John Wiley & Sons, Ltd.
- TISSOT B.P., 1984: *Recent Advances in Petroleum Geochemistry Applied to Hydrocarbon Exploitation*. The AAPG Bull., 69, s. 545—563.
- TJOONK R., VAN GIJTENBEEK K., 1998: *Coalbed methane fracturing treatments performed in the Upper Silesian Coal Basin. International Conference on Coal-bed Methane Technologies of Recovery and Utilization*. Katowice: Central Mining Institute, s. 273—288.
- TWARDOWSKI K. (red.), 1997a: *Ocena metanonośności węgla kamiennych Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego na podstawie wyników pomiarów otworowych*. Kraków: Centrum PPGSMiE PAN.
- TWARDOWSKI K., 1997b: *O akumulacji metanu w pokładach węgla*. „Wiertnictwo Nafta Gaz”, 14, s. 97—109.
- TWARDOWSKI K., 1999: *Struktura przestrzeni porowej i potencjalna pojemność gazowa węgla kamiennych*. „Wiertnictwo Nafta Gaz”, 16, s. 129—141.
- VAN BERGEN F., PAGNIER H., KRZYSTOLIK P., 2006: *Field experiment of enhanced coalbed methane-CO₂ in the upper Silesian basin of Poland*. Environ. Geosci., 13, s. 201—224.
- WAPLES D.W., 1994: *Maturity Modeling: Thermal Indicators Hydrocarbon Generation, and Oil Cracking*. In: *The petroleum system — from source to trap*. Eds. L.B. MAGOON, W.G. DOW. AAPG Memoir 60.
- WARREN J.E., ROOT P.J., 1963: *The behavior of naturally fractured reservoirs*. Soc. Petrol. Eng. J., 3, s. 245—255.
- WOLF K.A.A., VAN BERGEN F., EPHRAIM R., PAGNIER H., 2008: *Determination of the cleat angle distribution of the RECOPOL coal seams, using CT-scans and image analysis on drilling cuttings and coal blocks*. Int. J. Coal. Geol., 73, s. 259—272.
- ZHANG S., TANG S., TANG D., PAN Z., YANG F., 2010: *The characteristics of coal reservoir pores and coal facies in Liulin district, Hedong coal field of China*. Int. J. Coal. Geol., 81, s. 117—127.
- ŻYŁA M., 2000: *Charakterystyka własności strukturalno-sorpcyjnych węgla kamiennych*. W: *Układ węgiel kamienny — metan w aspekcie desorpcji i odzyskania metanu z gazów kopalnianych*. Red. M. ŻYŁA. Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, s. 11—33.

**A near-roof gas-bearing zone
in Carboniferous rocks of the southern part of the Upper Silesian Coal Basin —
occurrence, coal reservoir parameters and prospects for methane extraction**

S u m m a r y

In the southern part of the Upper Silesian Coal Basin, a gas-bearing zone including coal beds and waste rocks secondarily saturated with methane occurs near the top of a coal-bearing Carboniferous sequence. The accumulation of methane within the zone was possible because, inter alia, the Carboniferous rocks are covered by a few hundred meters of impermeable Miocene deposits, that constitute an isolating screen for gases.

The zone has become an attractive prospect for investors interested in the exploitation of the coal bed methane (CBM) by surface bore holes. The reasons for this are the shallow location of the zone and prospective reservoir parameters.

The present work is an attempt to make a detailed geological analysis of the gas bearing zone as an independent element of the gas-bearing system of the Silesian Basin. The distribution of the methane, the reservoir parameters and possible ways of CBM extraction are examined. The zone was defined by reference to the binding balance criteria of CBM as the main or accompanying mineral commodity.

Analysis of the methane content in the coal beds and waste rocks of the zone show that the methane accumulation is to a large extent determined by the geology of the uppermost part of the Carboniferous sequence, i.e., the lithologies present, fault systems and the topography of the roof of coal-bearing formations. The methane zone is most continuous and concentrated in the region of Warszowice-Pawłowice which is situated in the upthrow side of the Bzie-Czechowice dislocation where hermetic mudstones occur at the top of the Carboniferous formations. The zone becomes less continuous to the east and in the region of Ćwiklice-Dankowice, appearing in the form of isolated areas that coincide with the occurrence of porous- and permeable Łaziska sandstones at the top of the coal bearing rocks.

In the regions of Bzie-Dębina and Gołkowice and Zebrzydowice-Kaczyce on the southern side of the Bzie-Czechowice dislocation, the near-roof gas-bearing zone becomes thinner and more dispersed. However, the amount of free gas increases in sandstones and

conglomerates lying on the boundary between Carboniferous- and Miocene formations.

In the context of conventional natural-gas plays within the Carpathian Foredeep and the distribution of methane contents in coal seams, the zone of interest here occupies a distinctive position in the gas bearing system of the Carboniferous and Miocene of the Upper Silesian Coal Basin. It constitutes an independent gas-bearing complex encompassing both adsorbed methane in coal seams and free methane accumulated in other reservoir rocks, mainly sandstones.

Based on the research of others who proposed a microbial origin for the methane in the near-roof parts of the Carboniferous sequence and in the Miocene strata, on the fact that the coal seams are almost fully saturated with methane, and on the influence of faults in methane accumulation, it is concluded that the origin of the gas involved both microbial and thermogenic processes. Microbial methane was probably formed by bacteria in the current host rocks whereas thermogenic methane migrated along faults from deeper Carboniferous source rocks.

The reservoir parameters of the coal beds generally indicate a low capability for fluid conduction (0.1—3 mD permeability) and eventually did not confirm more profitable parameters of permeability and porosity in the shallow beds. Greater than average parameters (3—18 mD) were noted only locally; this may reflect a localized coal susceptibility to natural crushing.

The near-roof methane zone is not profitable for CBM exploitation by surface bore-holes as the beds involved are dislocated, commonly split, and are cut by a dense fault network in the most methane-rich region of Warszowice-Pawłowice. Bed thicknesses become constant eastwards in the Ćwiklice-Dankowice region, but gas contents are much lower there. Even leaving these other difficulties aside, the failure to find the combination of uniform beds and high gas contents seems to indicate that the near-roof gas-bearing zone is an uncertain CBM exploitation target.

Taking into account a limiting depth of ca 800 meters for the profitable exploitation of methane, it is pro-

posed that the scope of the search should be widened to include the beds of the primary (deep) gas bearing zone down to that depth. The spread and thickness of selected coal beds in this deeper interval show that it is easier to find areas where coal seams are both regular in their occurrence and are characterized by relatively high gas contents. In the light of the studies and obse-

rvations carried out, coal seam 315 in the region of Dankowice, and seams 338/1 and 340/2 in the region of Warszowice-Pawłowice, are the most prospective for efficient CBM extraction. In addition, CBM exploitation by surface bore-holes has involved and will involve many problems of a geological and environmental nature.

**Газоносная около кровельная зона в отложениях карбона южной части
Горносилезского угольного бассейна —
залегание, параметры газоносности угля и возможности добычи метана**

Резюме

Газоносная около кровельная зона, охватывающая вторично насыщенные метаном пласты угля и пустые породы, залегающие вблизи кровли угольных отложений карбона, находится в южной части Горносилезского угольного бассейна. Скопление метана в пределах этой зоны происходило, в частности, благодаря перекрытию угольного комплекса карбона серией непроницаемых миоценовых осадков мощностью в несколько сотен метров, являющихся изолирующим экраном для газов.

Обсуждаемая зона заинтересовала инвесторов в плане скважинной разработки метана угольных пластов (МУП). Неглубокое залегание этой зоны, а также ожидаемые эффективные параметры газоносности угля имели решающее значение.

В настоящей работе была предпринята попытка комплексного анализа газоносной около кровельной зоны, как самостоятельного элемента в газоносной системе бассейна. Были изучены способ аккумуляции метана, параметры газоносности угля и возможные методы добычи МУП.

Газоносная зона была выделена, исходя из принятых критериев при учете действующих критериев баланса запасов метана, как основного или сопутствующего полезного ископаемого.

Анализ метаноносности угольных пластов и пустых пород в пределах этой зоны показал, что элементы геологического строения кровли отложений карбона, такие как литология отложений карбона и миоцена, разрывная тектоника и форма кровли угленосных отложений карбона, отвечали в большей степени за аккумуляцию метана. Рассматриваемая зона характеризуется наиболее непрерывным и сплошным распространением в районе Варшавице-Павловице, расположенном в висящем крыле дислокации Бзе-Чеховице и отличающимся наличием непроницаемых аргиллитов и алевролитов в кровле отложений карбона. В восточном направлении (район Чвиклице-Данковице) данная зона становится более прерывистой, она проявляется в форме изолированных фрагментов, что совпадает с залеганием пороватых и проницаемых лазиских

песчанников в кровли угленосных отложений карбона.

В южной части вышеупомянутой дислокации (районы Бзя-Дембина, Голковице и Зебжидовице-Качице) газоносная около кровельная зона меняет свой характер и становится менее мощной и более расчлененной, зато увеличивается количество газа в пустых породах.

Рассматриваемая зона занимает конкретную позицию в газоносной системе карбона и миоцена Горносилезского бассейна относительно традиционных месторождений природного газа Карпатской депрессии и метаноносного поля угленосных отложений карбона. С учетом этого, обсуждаемая зона является независимым газоносным комплексом, включающим в себя как метаноносные пласты угля, так и пустые породы, насыщенные свободным метаном.

Основываясь на результатах исследований других авторов, говорящих о микробиальном происхождении метана в около кровельных партиях карбона и миоцена и на факте почти полного насыщения пластов метаном, а также на оценке роли сбросов, влияющих на количество накопленного метана, был сформулирован вывод о полигенетическом генезисе газа — микробиальный и термогенетический. Вероятно, микробиальный метан был произведен метановыми бактериями на месте, а термогенетический метан просочился по сбросам с более глубоких партий карбона.

Анализ параметров газоносности угля показал, в общем, слабый потенциал проводимости среды (проницаемость 0,1–3 мД) и, в конечном итоге, не подтвердил более эффективной проницаемости и пороватости в неглубоких пластах. Большие значения проницаемости по сравнению со средними (3–18 мД) были отмечены локально, что было вызвано избирательной восприимчивостью угля на процессы натурального дробления.

Как мощность, так и залегание угольных пластов в пределах обсуждаемой зоны не являются благоприятными с точки зрения скважинной эксплуатации метана. В наиболее метаноносном

районе Варшовиц-Павловиц эти пласты проявляют нарушенный характер, они часто расщеплены и разбиты густой сетью сбросов. В восточном направлении (район Чвиклице-Данковице) условия залегания пластов более благоприятны, зато их газоносность уменьшается. Газоносная около кровельная зона не является надежным источником добычи МУП, в частности, из-за несоответствия между непрерывным, ненарушенным залеганием пластов и высокой газоносностью.

Принимая во внимание предельную глубину рентабельной эксплуатации метана, равной 800 м, предложено расширить предел поисков пластов для эксплуатации МУП, охватывающий пласты основной газоносной зоны, лежащих до установленной

глубины. Анализ распространения и мощность определенных пластов в данном интервале глубин показал, что здесь легче найти области, отвечающие критериям, учитывающим закономерность нахождения угольных пластов и их газоносность, чем исключительно в пределах газоносной около кровельной зоны. В свете проведенных исследований и наблюдений наиболее благоприятными для эффективной добычи метана являются пласты 315 в районе Данковиц и 338.1 и 340.2 в районе Варшовиц-Павловиц.

Начало скважинной добычи метана будет связано с возникновением множества проблем геологического и экологического характера.

**Cena 20 zł
(+ VAT)**

**ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-226-2093-9**